

# ДОКЛАДЫ

## АКАДЕМИИ НАУК СССР

ВЫХОДЯТ ТРИ РАЗА В МЕСЯЦ

Редакционная коллегия: акад. Л. А. Арцимович, акад. А. Г. Бетехтин, акад. С. А. Векшинский, акад. А. Н. Колмогоров (зам. главного редактора), акад. А. Л. Курсанов, акад. С. А. Лебедев, акад. А. И. Опарин (главный редактор), акад. Е. Н. Павловский, акад. Л. И. Седов, акад. Н. М. Страхов, акад. А. Н. Фрумкин (зам. главного редактора)

25-й ГОД ИЗДАНИЯ

1957

ТОМ 115, № 6

### СОДЕРЖАНИЕ

#### МАТЕМАТИКА

	Стр.
Ю. Е. Аленицын. О функциях без общих значений и внешней границе области значений функции . . . . .	1055
Л. В. Канторович и Г. Ш. Рубинштейн. Об одном функциональном пространстве и некоторых экстремальных задачах . . . . .	1058
Н. М. Коробов. Приближенное вычисление кратных интегралов с помощью методов теории чисел . . . . .	1062
А. И. Кострикин и И. Р. Шафаревич. Группы гомологий нильпотентных алгебр . . . . .	1066
Н. А. Лебедев. Об области значений одного функционала в задаче о неналежащих областях . . . . .	1070
И. И. Паровиченко. О топологических пространствах, вес которых больше мощности . . . . .	1074
В. К. Саульев. Об одном способе численного интегрирования уравнений диффузии . . . . .	1077

#### ГИДРОМЕХАНИКА

Ю. Л. Якимов. О неустановившихся движениях несжимаемой жидкости в узких областях . . . . .	1080
--	------

#### АСТРОНОМИЯ

Е. П. Федоров. О силах взаимодействия ядра и оболочки Земли, возникающих вследствие нутации . . . . .	1084
---	------

#### ФИЗИКА

В. В. Гужавин и И. П. Иваненко. О функции пространственного распределения частиц в электронно-фотонном ливне . . . . .	1089
А. П. Жданов, И. Б. Беркович, К. И. Ермакова, Ф. Г. Лепехин, Н. В. Скирда и З. С. Хохлова. О взаимодействии частиц высокой энергии с ядрами . . . . .	1093
Р. Л. Стратонович. Об одном методе вычисления квантовых функций распределения . . . . .	1097

- Е. Д. Шукин, В. Н. Рожанский и Ю. В. Горюнов. Об изменении электрического сопротивления при элементарном сдвигообразовании . . . . . 1101

## ГЕОФИЗИКА

- А. А. Дмитриев. Оценка условного коэффициента температуропроводности при моделировании атмосферных процессов . . . . . 1104

## ОКЕАНОЛОГИЯ

- А. П. Лисицын, И. Е. Михальцев, Н. Н. Сысоев и Г. Б. Удинцев. Новые данные о мощности и условиях залегания рыхлых отложений северо-западной части Тихого океана . . . . . 1107

## ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

- Ю. А. Багаряцкий и Ю. Д. Тяпкин. О соотношении процессов диффузии и перестройки решетки при распаде пересыщенных твердых растворов в сплавах . . . . . 1111

## КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

- В. Н. Варфоломеева и Н. Д. Жевандров. Поляризационные диаграммы люминесценции монокристаллов стильбена . . . . . 1115

## ХИМИЯ

- А. Е. Арбузов и Н. Н. Сазонова. Взаимодействие промежуточных продуктов арбузовской перегруппировки с аминами . . . . . 1119  
О. П. Голова, А. М. Пахомов, Е. А. Андриевская и Р. Г. Крылова. О механизме термического распада целлюлозы в вакууме и образовании 1,6-ангидро-1,5-глюкопиранозы — левоглюкозана . . . . . 1122  
Н. И. Ершов и Я. Т. Эйдус. Экспериментальное обоснование цепного механизма гетерогенно-каталитической реакции гидрополимеризации олефинов, протекающей под влиянием окиси углерода и водорода . . . . . 1126

## ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

- В. И. Классен и Л. П. Старчик. К механизму действия реагентов при флотации . . . . . 1129  
М. М. Никифорова и З. А. Иофа. Пассивация и депассивация свинцового анода в концентрированных кремнефтористоводородной, хлорной и бромфтористоводородной кислотах . . . . . 1131  
Л. В. Хайленко. Исследование кинетики развития деформации сдвига в водных растворах глицерина, сахарозы и ксилита . . . . . 1135

## БИОХИМИЯ

- В. Ф. Купревич и Е. Н. Моисеева. Внеклеточные ферменты лишайников . . . . . 1138  
М. В. Туркина. К вопросу о первых углеводах, образующихся в процессе фотосинтеза . . . . . 1142

## ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

- К. П. Азаров и В. В. Баландина. Растворимость окислов железа в борных и безборных силикатных расплавах . . . . . 1146  
М. А. Безбородов и И. С. Качан. Влияние циркония и титана на некоторые свойства силикатных стекол . . . . . 1148

## ГЕОЛОГИЯ

- П. С. Воронов и М. В. Кленова. Предварительные данные о геологическом строении района Советской Южнополярной обсерватории Мирный . . . . . 1153  
П. П. Зотов. О последовательности внедрения и возрасте интрузивных пород Коунрадского района . . . . . 1157  
В. А. Зубаков. О ледниково-морских отложениях Западной Сибири и границах распространения санчуговской трансгрессии по Енисею . . . . . 1161  
Г. И. Кедо. О стратиграфии и спорово-пыльцевых комплексах нижних горизонтов карбона БССР . . . . . 1165  
М. В. Корж. К вопросу о стратиграфии триасовых отложений Южного Приморья . . . . . 1169  
Г. Моор. Кимберлитоподобные породы с ксенолитами гнейсов архея из северной окраины Сибирской платформы . . . . . 1173  
М. Г. Равич и Д. С. Соловьев. Новые данные о геологическом строении оазиса Бангера в Восточной Антарктиде . . . . . 1177



М. А. Семихатов. К стратиграфии алданского яруса нижнего кембрия Канско-Ангарской впадины . . . . .	1181
В. Н. Шилов и Г. Н. Порываева. Некоторые экспериментальные данные о термальном воздействии долеритов на вмещающие их каменные угли на Южном Сахалине . . . . .	1185

## МИНЕРАЛОГИЯ

А. П. Бобрневич, Вл. А. Калужный и Г. И. Смирнов. Муассанит в кимберлитах Восточно-Сибирской платформы . . . . .	1189
--	------

## ЭКОЛОГИЯ

В. С. Смирнов и С. С. Шварц. Сезонные изменения относительного веса надпочечников у млекопитающих в природных условиях . . . . .	1193
--	------

## МИКРОБИОЛОГИЯ

З. А. Колесник и Н. И. Шмонова. К изучению изменения нефти в анаэробных условиях под влиянием бактерий из рода <i>Pseudomonas</i> . . . . .	1197
Б. И. Рукавцов. Цитологические наблюдения над культурой кишечной палочки в аноптральном микроскопе . . . . .	1200

## ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

А. И. Коровин. О влиянии пониженной температуры почвы на эффективность некоторых форм и доз минеральных удобрений . . . . .	1202
И. Е. Рогалев. О дифференциации сосудистоволокнистых пучков и сосудов ксилемы под влиянием фосфорного питания растений . . . . .	1206

## ФИТОПАТОЛОГИЯ

Е. Н. Мухин и Н. П. Панасенко. Влияние облучения $Co^{60}$ на поражаемость клубней картофеля микроорганизмами . . . . .	1209
---	------

## ЗООЛОГИЯ

Х. М. Саидова. О распределении фораминифер в толще осадков Охотского моря . . . . .	1213
---	------

## ФИЗИОЛОГИЯ

Д. П. Кладниенко и Р. А. Надопта. Влияние азотнокислого урана на развитие и метаморфоз головастика зеленой лягушки ( <i>Rana esculenta</i> ) . . . . .	1217
В. Б. Малкин. К вопросу о прекращении фибрилляции желудочков сердца электрическим стимулом . . . . .	1220
С. Н. Романов. Изменения сорбционных свойств нейронов головного мозга мышей при раздражении рецепторов желудка . . . . .	1224

## ПАРАЗИТОЛОГИЯ

Е. С. Турлыгина. Об изменении дыхательного процесса у растений под влиянием галлового нематодоза . . . . .	1227
--	------

## Указатель статей к тому 115

Систематический . . . . .	
Алфавитный . . . . .	

## CONTENTS

## MATHEMATICS

	Pages
Yu. E. Alenitsyn. On functions having no values in common and the outer boundary of the function's domain . . . . .	1055
L. V. Kantorovich and G. Sh. Rubinstein. On a functional space and certain extremum problems . . . . .	1058
N. M. Korobov. Approximate calculation of repeated integrals by number-theoretical methods . . . . .	1062
A. I. Kostrikin and I. R. Shafarevich. Groups of homologies of nilpotent algebras . . . . .	1066
N. A. Lebedev. On the domain of values of a certain functional in the problem of non-overlapping domains . . . . .	1070
I. I. Parovichenko. On topological spaces whose weight exceeds their power . . . . .	1074
V. K. Sauliev. A method of numerical integration of diffusion equations . . . . .	1077

## FLUID MECHANICS

Yu. L. Iakimov. Unsteady motions of incompressible fluid in narrow regions . . . . .	1080
	1051

- E. P. Fedorov.** On the forces of interaction between the Earth's core and shell, due to the nutation . . . . . 1084

## PHYSICS

- V. V. Guzhavin and I. P. Ivanenko.** On the lateral distribution function of particles in an electron-photon shower . . . . . 1089
- A. P. Zhdanov, I. B. Berkovich, K. I. Ermakova, F. G. Lepekhin, N. V. Skirda and Z. S. Khokhlova.** Interaction of high energy particles with nuclei . . . . . 1093
- R. L. Stratonovich.** A method for the computation of quantum distribution functions . . . . . 1097
- E. D. Shchukin, V. N. Rozhanski and J. V. Goriunov.** On the change of electrical resistivity by elementary slip . . . . . 1101

## GEOPHYSICS

- A. A. Dmitriev.** Estimation of a certain conventional coefficient of temperature conductivity in modelling atmospheric processes . . . . . 1104

## OCEANOLOGY

- A. P. Lisitsin, I. E. Mikhaltsev, N. N. Sysoev and G. B. Udintsev.** New data on the thickness and bedding conditions of soft deposits in the north-western part of the Pacific . . . . . 1107

## TECHNICAL PHYSICS

- Yu. A. Bagarjatskii and Yu. D. Tjapkin.** On the diffusion and lattice reorganization relationship during the decomposition of solid solutions in alloys . . . . . 1111

## CRYSTALLOGRAPHY

- V. N. Varfolomeeva and N. D. Zhevandrov.** Luminescence polarization diagrams for single crystals of stilbene . . . . . 1115

## CHEMISTRY

- A. E. Arbuzov and N. N. Sazonova.** Interaction of the intermediate products of Arbuzov's regrouping with amines . . . . . 1111
- O. P. Golova, A. M. Pakhomov, E. A. Andrievskaia and R. G. Krylova.** On the mechanism of the thermal breakdown of cellulose in vacuo and the formation of 1,6-anhydro-1,5-glucopyranose, a levoglucosan . . . . . 112
- N. I. Ershov and J. T. Eidus.** Experimental verification of the chain mechanism of hydropolymerization of olefines, a heterogeneous catalytic reaction proceeding under the influence of carbon monoxide and hydrogen . . . . . 112

## PHYSICAL CHEMISTRY

- V. I. Klassen and L. P. Starchik.** The mechanism underlying the action of reactants in flotation . . . . . 112
- M. M. Nikiiforova and Z. A. Iofa.** Passivation and de-passivation of a lead anode in concentrated solutions of fluosilicic, perchloric and fluoboric acids . . . . . 113
- L. V. Khailenko.** Kinetics of shear strain development in water solutions of glycerol, sucrose and xylitol . . . . . 113

## BIOCHEMISTRY

- W. F. Kuprevich and E. N. Moiseeva.** Extracellular enzymes of lichens . . . . . 113
- M. V. Turkina.** On the first carbohydrates formed in photosynthesis . . . . . 114

## CHEMICAL TECHNOLOGY

- K. P. Azarov and V. V. Balandina.** Solubility of iron oxides in silicate melts with or without boron . . . . . 114
- M. A. Bezborodov and I. S. Kachan.** The influence of zirconium and titanium on some properties of silicate glasses . . . . . 114

## GEOLOGY

- P. S. Voronov and M. V. Klenova.** Preliminary data on the geological structure of the region of the Soviet South-polar observatory Mirny . . . . . 114



	<i>Pages</i>
P. P. Zotov. On the succession of intrusion and the age of intrusive rocks of the Kounrad region . . . . .	1157
V. A. Zubakov. On the glacial-marine deposits of West Siberia and the distribution boundaries of the Sanchugov transgression along the Enisei river. . .	1161
G. I. Kedo. On the stratigraphy and spore-pollen complexes of the lower horizons of the Carboniferous in the BSSR. . . . .	1165
M. V. Korzh. On the problem of the stratigraphy of Triassic deposits of South Primorye . . . . .	1169
G. Moor. Kymberlite-like rocks with xenoliths of Archean gneisses from the northern borders of the Siberian platform . . . . .	1173
M. G. Ravich and D. S. Soloviev. New data on the geological structure of the Banger Oasis in the East Antarctic . . . . .	1177
M. A. Semikhatov. On the stratigraphy of the Aldan stage of the Lower Cambrian of the Kansk-Angara depression . . . . .	1181
V. N. Shilov and G. N. Poryvaeva. Some experimental data concerning the thermal effect produced by dolerites upon the coals that contain them in South Sakhalin . . . . .	1185

## MINERALOGY

A. P. Bobrievich, V. A. Kalyuzhny and G. I. Smirnov. Moissanite in the kimberlites of the East-Siberian platform . . . . .	1189
--	------

## ECOLOGY

V. S. Smirnov and S. S. Schwartz. Seasonal variations in the relative weight of adrenals in mammals under natural conditions . . . . .	1193
--	------

## MICROBIOLOGY

Z. A. Kolesnik and N. I. Shmonova. On the study of oil variation in anaerobic conditions under the influence of bacteria of the <i>Pseudomonas</i> genus . .	1197
B. I. Rukavtsov. Cytological observations of a culture of <i>Bacterium coli</i> , carried out with the aid of an anoptal microscope . . . . .	1200

## PLANT PHYSIOLOGY

A. I. Korovin. The influence of low soil temperature upon the efficiency of certain kinds of mineral fertilizers and their dosage . . . . .	1202
I. E. Rogalev. On the differentiation of fibrovascular bundles and vessels of the xylem, as affected by phosphoric nutrition of plants . . . . .	1206

## PHYTOPATHOLOGY

E. N. Mukhin and N. P. Panasenko. Susceptibility of the potato tubers to microorganisms, as affected by $\text{Co}^{60}$ irradiation . . . . .	1209
--	------

## ZOOLOGY

Kh. M. Saidova. The distribution of Foraminifera in the deposits of the Okhotsk sea . . . . .	1213
---	------

## PHYSIOLOGY

D. P. Kladienko and R. A. Nadopta. Development and metamorphosis of <i>Rana esculenta</i> tadpoles as affected by uranium nitrate . . . . .	1217
V. B. Malkin. On the problem of stopping fibrillation of heart ventricles with the aid of electrical stimulus . . . . .	1220
S. N. Romanov. Changes in the sorbital capacities of the brain neurons in mice in the case of excitation of stomach receptors . . . . .	1224

## PARASITOLOGY

E. S. Turlyghina. On the respiratory process in plants, as affected by gal-lnut nematodosis . . . . .	1227
	1053

Т-08871      Подписано к печати 15 X 1957      Тираж 5900 экз.      Заказ 1828  
Формат бумаги  $70 \times 108^{1/16}$ .      Бум. л. 6      Печ. л. 16,44+4 вклейки Уч.-изд. л. 16,6  
2-я типография Издательства Академии наук СССР. Москва, Шубинский пер., 10



Ю. Е. АЛЕНИЦЫН

# О ФУНКЦИЯХ БЕЗ ОБЩИХ ЗНАЧЕНИЙ И ВНЕШНЕЙ ГРАНИЦЕ ОБЛАСТИ ЗНАЧЕНИЙ ФУНКЦИИ

(Представлено академиком В. И. Смирновым 23 III 1957)

В работах <sup>(1,2)</sup> автора был получен ряд теорем об однолистных конформных отображениях. Здесь решаются аналогичные вопросы для не-однолистных отображений.

В дальнейшем  $B$  есть конечносвязная область плоскости  $z$  с невырожденными граничными континуумами и не содержащая точки  $z = \infty$ . Под мероморфными, в частности, регулярными в области  $B$ , функциями понимаются однозначные мероморфные или регулярные в  $B$  функции.  $R_a(B)$  есть семейство всех функций  $f(z)$ , регулярных в области  $B$  и удовлетворяющих в ней условиям  $|f(z)| < 1$ ,  $f(a) = 0$ , где  $a$  — заданная точка  $B$ . Через  $F(z, a)$  обозначается та функция класса  $R_a(B)$ , для которой  $|f'(a)| \leq F'(a, a)$ ,  $f(z) \in R_a(B)$ . Функции  $f_\nu(z)$ ,  $\nu = 1, \dots, n$ , определенные, соответственно, в областях  $B_\nu$  (любых), называем функциями без общих значений в этих областях, если  $f_\nu(z_\nu) \neq f_\mu(z_\mu)$  для любых  $z_\nu \in B_\nu$ ,  $z_\mu \in B_\mu$  и любых  $\nu \neq \mu$ ;  $\nu, \mu = 1, \dots, n$ .

**Теорема 1.** Если  $f_\nu(z)$ ,  $\nu = 1, 2$ , в области  $B$  являются мероморфными функциями без общих значений, то для любых точек  $z_\nu \in B$ , в которых  $f_\nu(z)$  регулярны, имеем точную оценку

$$|f'_1(z_1)f'_2(z_2)| \leq |f_1(z_1) - f_2(z_2)|^2 F'(z_1, z_1) F'(z_2, z_2).$$

Экстремальные системы функций определяются уравнениями

$$(f_1(z) - a_1)/(f_1(z) - a_2) = \rho \varepsilon_1 F(z, z_1), \quad (f_2(z) - a_2)/(f_2(z) - a_1) = \varepsilon_2 F(z, z_2)/\rho$$

при любых конечных и различных  $a_1$  и  $a_2$ ,  $\rho > 0$ ,  $|\varepsilon_1| = |\varepsilon_2| = 1$ .

Пусть заданы любые конечные числа  $a_1$  и  $a_2$ ,  $a_1 \neq a_2$ , и  $\mathfrak{M}(a_1, a_2; a, B)$  есть класс всех систем функций  $f_\nu(z)$ ,  $\nu = 1, 2$ ,  $f_\nu(a) = a_\nu$ ,  $a \in B$ , мероморфных и без общих значений в  $B$ . Обозначим через  $\mathcal{G}(a_1, a_2; a, B)$  множество всех точек  $M(X, Y) \equiv M(|f'_1(a)|, |f'_2(a)|)$  плоскости  $XOY$  в классе  $\mathfrak{M}(a_1, a_2; a, B)$ .

**Теорема 2.** Множество  $\mathcal{G}(a_1, a_2; a, B)$  есть замкнутая область с исключенной граничной точкой  $\infty$

$$0 \leq XY \leq |a_1 - a_2|^2 F'^2(a, a).$$

Множество всех значений  $w$ , принимаемых в области  $B$  мероморфной в ней функцией  $w = f(z)$  и рассматриваемых в плоскости  $w$ , назовем областью значений  $f(z)$  в  $B$ .

В случае любого числа функций некоторые известные теоремы об однолистных отображениях на взаимно не налегающие области могут быть аналогично предшествующему перенесены на случай функций без общих значений в области  $B$ , при условии, что система областей значений этих функций имеет заполнение <sup>(1)</sup>.

Для любых данных различных точек  $a_1$  и  $a_2$  расширенной плоскости рассмотрим класс  $\mathfrak{M}(a_1, a_2) \equiv \mathfrak{M}(a_1, a_2; 0, |z| < 1)$  и его подкласс  $\mathfrak{M}_S(a_1, a_2)$  систем однолистных функций. Пусть системе  $\tilde{f}_\nu(z)$ ,  $\nu = 1, 2$ , класса  $\mathfrak{M}_S(a_1, a_2)$  соответствуют при отображениях  $w = \tilde{f}_\nu(z)$  образы  $\tilde{D}_\nu$  круга  $|z| < 1$  и пусть некоторая вещественная функция  $\mathcal{S}(w_1, w_2)$  определена при  $w_\nu \in D_\nu$ ,  $\nu = 1, 2$ , для всех систем функций класса  $\mathfrak{M}_S(a_1, a_2)$ .

**Лемма.** Если в классе  $\mathfrak{M}_S(a_1, a_2)$  для любых точек  $z_1, z_2$  круга  $|z| < 1$  верна одна из оценок

$$M_1(|z_1|, |z_2|) \leq \mathcal{S}(f_1(z_1), f_2(z_2)) \leq M_2(|z_1|, |z_2|),$$

где  $M_1$  есть убывающая, а  $M_2$  — возрастающая функция от каждого из своих аргументов, то она верна и в классе  $\mathfrak{M}(a_1, a_2)$  и может достигаться в нем только однолиственными функциями.

**Теорема 3.** В классе  $\mathfrak{M}(0, \infty)$  для любых точек  $z_1, z_2$  круга  $|z| < 1$  имеем\*

$$\begin{aligned} |\log(1 - f_1(z_1)/f_2(z_2))| &\leq -\frac{1}{2} \log(1 - |z_1|^2)(1 - |z_2|^2), \\ |f_1(z_1)/f_2(z_2)| &\leq |z_1 z_2| \sqrt{(1 - |z_1|^2)(1 - |z_2|^2)}. \end{aligned}$$

Оценки являются точными при любых  $z_1$  и  $z_2$  с  $|z_1| = |z_2| < 1$  и достигаются только однолиственными функциями.

**Теорема 4.** Если  $f(z)$ ,  $f(0) = 0$ , регулярная в  $|z| < 1$ , и  $F(\zeta)$ ,  $F(\infty) = \infty$ , мероморфная в  $|\zeta| > 1$ , являются функциями без общих значений, то для  $|z| < 1$  и  $|\zeta| > 1$  имеем

$$\begin{aligned} \left| \frac{f^2(z) f'(z) f'(0) F'(\zeta)}{(f(z) - F(\zeta))^2 f^2(\zeta) F'(\infty)} \right| &\leq \frac{|z|^2}{|\zeta|^2 (1 - |z|^2) (|\zeta|^2 - 1)}, \\ |f'(z) f'(0) F'(\zeta) / F^2(\zeta) F'(\infty)| &\leq 1 / (1 - |z|^2) (|\zeta|^2 - 1). \end{aligned}$$

Оценки являются точными при любых  $z$  и  $\zeta$  с  $|z| = 1/|\zeta| < 1$  и достигаются только однолиственными функциями.

В частности, из теорем 3 и 4 непосредственно следует ряд известных (2-5) точных оценок для функций Бибераха — Эйленберга и связанных с ними функций.

Пусть  $B_q$  — кольцо  $q < |z| < 1$ . Известно (6) следующее обобщение леммы Шварца на случай кольца. Если  $f(z) \in R_a(B)$ , то для любого  $z_0 \in B_q$  имеем  $|f(z_0)| \leq |H(z_0, 1; a_0(z_0), a)|$ , где  $H \equiv H(z, 1; a_0(z), a)$  единственным образом определяется условиями:  $H$  регулярна в  $\bar{B}_q$ , имеет  $z = a_0(z_0) = -q e^{i \arg z_0} / |a|$  и  $z = a$  единственными и простыми нулями в  $B_q$ , на  $|z| = q$  и  $|z| = 1$   $|H| \equiv 1$ ,  $H|_{z=1} = 1$ ;  $H$  выражается явно через  $\theta(z) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} q^{n^2} z^n$ . Экстремальными являются  $f(z) = \varepsilon H$ ,  $|\varepsilon| = 1$ .

**Теорема 5.** Для  $B_q$   $F(z, a) = \alpha H(z, 1; a_0(a), a)$ , где  $\alpha = \exp(-i \arg H'(a, 1; a_0(a), a))$ .

Эта теорема дополняет приведенную лемму Шварца и дает явное выражение для функции  $F(z, a)$  в случае кольца.

Для краткости положим  $H(\zeta, 1; a_0(z), a)|_{\zeta=z} = H(z, 1; a_0(z), a) = H(z)$ . Пусть  $a_1$  и  $a_2$ ,  $a_1 \neq a_2$ , — данные точки расширенной плоскости.

**Лемма.** Если в классе  $\mathfrak{M}_S(a_1, a_2)$  для любых точек  $z_1, z_2$  круга  $|z| < 1$  верна одна из оценок

$$M_1(|z_1|, |z_2|) \leq \tilde{\mathcal{S}}(\tilde{f}_1(z_1), \tilde{f}_2(z_2)) \leq M_2(|z_1|, |z_2|),$$

\*  $\log(1 - f_1(z_1)/f_2(z_2))$  — значение той однозначной в единичном круге ветви многозначной функции от  $z_1$  или  $z_2$ , которая обращается в нуль, соответственно, при  $z_1 =$  или  $z_2 = 0$ .



где  $M_1$  — убывающая, а  $M_2$  — возрастающая функции от каждого из своих аргументов, то в классе  $\mathfrak{M}(a_1, a_2; a, B_q)$  для любых точек  $z_1, z_2$  кольца верна соответствующая оценка

$$M_1(|H(z_1)|, |H(z_2)|) \leq \tilde{\mathcal{F}}(f_1(z_1), f_2(z_2)) \leq M_2(|H(z_1)|, |H(z_2)|),$$

которая может достигаться в этом классе только системами функций тогда  $f_v(z) = \tilde{f}_v(\varepsilon_v H(z, 1; a_0(z_v), a)), |\varepsilon_v| = 1, v = 1, 2$ .

Теорема 3'. В классе  $\mathfrak{M}(0, \infty; a, B_q)$  для любых точек  $z_1, z_2$  кольца имеем

$$|\log(1 - f_1(z_1)/f_2(z_2))| \leq -\frac{1}{2} \log(1 - |H(z_1)|^2)(1 - |H(z_2)|^2),$$

$$|f_1(z_1)/f_2(z_2)| \leq |H(z_1)H(z_2)| / \sqrt{(1 - |H(z_1)|^2)(1 - |H(z_2)|^2)}.$$

Оценки являются точными при любых  $z_1$  и  $z_2$  таких, что  $|H(z_1)| = |H(z_2)|$ .

Обозначим через  $C_a(B)$  класс всех функций  $f(z)$ , регулярных в области  $B$  и удовлетворяющих условиям:  $f(a) = 0, a \in B; f(z_1)f(z_2) \neq 1, z_1, z_2 \in B$ . В частности, класс  $C$  функций Бибераха — Эйлберга есть класс  $C_0(|z| < 1)$ .

Теорема 6. Для любой данной функции  $f(z) \in C_a(B)$  существует такая однолистная функция  $\tilde{f}(\tau) \in C$ , что  $f(z)$  не принимает в  $B$  тех значений, которых в  $|\tau| < 1$  не принимает  $\tilde{f}(\tau)$ .

Теорема 7. Если  $f(z) \in C_a(B)$ , то в  $B$  имеем точную оценку

$$|f'(z)| \leq |1 - f^2(z)| F'(z, z).$$

Если  $f(z) \in C_a(B_q)$ , то в  $B_q$  имеем точные оценки

$$|\log(1 - f^2(z))| \leq -\log(1 - |H(z)|^2), \quad |f(z)| \leq |H(z)| / \sqrt{1 - |H(z)|^2}.$$

Приведенные выше леммы обобщаются на случай любого числа функций без общих значений, образующих такие системы областей значений, которые имеют заполнение. Рассмотрим область  $D$  значений  $f(z)$ , регулярной в  $B$ . Тот из граничных континуумов  $D$ , каждую точку которого можно соединить с точкой  $\omega = \infty$  непрерывной кривой, не проходящей через точки  $D$ , будем называть внешней границей области значений  $f(z)$  или, короче, внешней границей  $f(z)$ .

Теорема 8. Если  $f(z)$  регулярна в  $B, f(a) = 0, f'(a) = 1, a \in B$ , то из  $n$  ближайших к  $\omega = 0$  точек внешней границы  $f(z)$ , лежащих на  $n$  любых лучах, выходящих из  $\omega = 0$  под равными углами, наиболее удаленная от  $\omega = 0$  точка отстоит от  $\omega = 0$  на расстояние  $d \geq 1/\sqrt[n]{4F'(a, a)}$  и знак равенства имеет место только для

$$f(z) = F(z, a) / (1 - \varepsilon F^n(z, a))^{2/n}, \quad |\varepsilon| = 1.$$

Аналогично переносится на класс  $R_a(B)$  известная теорема Пика об ограниченных однолистных функциях в единичном круге.

Теорема 9. Если  $f(z)$  регулярна в  $B_q, f(a) = 0, f'(a) = 1, a \in B_q$  и  $d$  — расстояние от начала  $\omega = 0$  ближайшей к нему точки внешней границы  $f(z)$ , то в  $B_q$  имеем точную оценку  $|f(z)| \leq 4d |H(z)| / (1 - |H(z)|^2)^2$ .

Ленинградское отделение  
Математического института им. В. А. Стеклова  
Академии наук СССР

Поступило  
15 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Ю. Е. Аленицын, Матем. сборн., 39, № 3 (1956). <sup>2</sup> Ю. Е. Аленицын, ДАН, 109, № 2 (1956). <sup>3</sup> С. А. Гельфанд, Матем. сборн., 19, № 1 (1946). <sup>4</sup> J. A. Jenkins, Trans. Am. Math. Soc., 76, № 3 (1954). <sup>5</sup> Shah Tao-Shing, Acta Math. Sinica, 5, № 4 (1955). <sup>6</sup> R. M. Robinson, Duke Math. J., 10, № 2 (1943).

Л. В. КАНТОРОВИЧ и Г. Ш. РУБИНШТЕЙН

# ОБ ОДНОМ ФУНКЦИОНАЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ И НЕКОТОРЫХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗАДАЧАХ

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 27 III 1957)

В работе рассматривается линейное нормированное пространство  $\Phi(B)$  вполне аддитивных функций, определенных на семействе  $B$  борелевских множеств произвольного метрического компакта  $R$ . В отличие от обычной нормы, равной полной вариации функции, вводится норма, существенно использующая метрику в  $R$ . При этом сопряженным с  $\Phi(B)$  оказывается пространство  $Lip^1(R)$  функций, определенных на  $R$  и удовлетворяющих условию Липшица. Введенное пространство позволяет исследовать ряд экстремальных задач.

1. Пространство  $\Phi_0(B)$ . Множество функций  $\varphi \in \Phi(B)$ , для которых  $\varphi(R) = 0$ , обозначим через  $\Phi_0(B)$ . Для  $\varphi \in \Phi_0(B)$  множество  $\Psi_\varphi$  неотрицательных вполне аддитивных по каждому аргументу функций  $\psi(e, e')$ , определенных на  $B \times B$  и удовлетворяющих условию  $\psi(e, R) = -\psi(R, e) \equiv \varphi(e)$ , не пусто. Положим

$$\|\varphi\| = \inf_{\psi \in \Psi_\varphi} \iint_{RR} r(x, y) \psi(de, de'),$$

где  $r(x, y)$  — расстояние в  $R$ , а интеграл понимается в смысле Колмогорова; при этом инфимум всегда достигается.  $\Phi_0(B)$  — линейное нормированное пространство.

Теорема 1. Сопряженным с  $\Phi_0(B)$  является пространство  $Lip^1(R)$  с нормой  $\|u\|_\sim = \sup_{x, y \in R, x \neq y} \frac{|u(x) - u(y)|}{r(x, y)}$  (функции, отличающиеся постоянным слагаемым, отождествляются).

Доказательство. Каждой функции  $u \in \tilde{Lip}^1(R)$  отвечает функционал

$$L(\varphi) = \int_R u(y) \varphi(de). \quad (1)$$

Для любой  $\psi \in \Psi_\varphi$  имеем

$$L(\varphi) = \int_R u(x) [\psi(de, R) - \psi(R, de)] = \iint_{RR} u(x) \psi(de, de') - \iint_{RR} u(y) \psi(de, de')$$

$$|L(\varphi)| = \left| \iint_{RR} [u(x) - u(y)] \psi(de, de') \right| \leq$$

$$\leq \|u\|_\sim \cdot \inf_{\psi \in \Psi_\varphi} \iint_{RR} r(x, y) \psi(de, de') = \|u\|_\sim \cdot \|\varphi\|. \quad (2)$$



## Рассмотрение функций

$$\varphi_{x_0 y_0}(e) = \begin{cases} 1 & \text{при } x_0 \in e, y_0 \notin e; \\ -1 & \text{при } x_0 \notin e, y_0 \in e; \\ 0 & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

убеждает, что норма линейного функционала  $L$  равна  $\|u\|_{\sim}$ .

Если  $L'$  — произвольный линейный функционал в  $\Phi_0(B)$ , то функция  $u(x) = L'(\varphi_{xy_0}) \in \tilde{\text{Lip}}^1(R)$  ( $|u(x) - u(y)| = |L'(\varphi_{xy_0}) - L'(\varphi_{yy_0})| = |L'(\varphi_{xy})| \leq \|L'\| \cdot \|\varphi_{xy}\| = \|L'\| \cdot r(x, y)$ ) и отвечающий этой функции функционал (1) совпадает с  $L'$  на всюду плотном множестве (линейных комбинаций функций  $\varphi_{xy}$ ), а значит, и везде.

Сравним теперь пространство  $\Phi_0(B)$  с пространством  $\Phi_0^V(B)$ , состоящим из тех же элементов, но нормированным обычным образом:  $\|\varphi\|_V = \text{Var } \varphi$ . Прежде всего

$$\|\varphi\| = \inf_{\psi \in \Psi_{\varphi} R R} \iint r(x, y) \psi(de, de') \leq \text{diam } R \cdot \inf_{\psi \in \Psi_{\varphi}} \psi(R, R) = \text{diam } R \cdot \frac{1}{2} \|\varphi\|_V.$$

С другой стороны, если в  $R$  имеется по крайней мере одна точка сгущения, то рассматриваемые две нормы неэквивалентны, и, следовательно,  $\Phi_0(B)$  — неполное пространство. Однако, если  $\{\varphi_n\}$  — последовательность Коши в  $\Phi_0(B)$  и  $\|\varphi_n\|_V$  ограничены, то  $\{\varphi_n\}$  сходится по норме  $\Phi_0(B)$  к некоторой  $\varphi_0 \in \Phi_0(B)$ . Вообще сходимость  $\{\varphi_n\}$  в  $\Phi_0(B)$  при условии ограниченности в  $\Phi_0^V(B)$  равносильна слабой сходимости  $\{\varphi_n\}$  как функционалов в  $C(R)$  (для одномерного случая ср. (1), стр. 153).

2. Пространство  $\Phi(B)$ . Пусть  $p(x)$  — некоторая функция, определенная на  $R$  и удовлетворяющая условиям

$$p(x) > \sup_{y \in R} r(x, y), \quad |p(x) - p(y)| \leq r(x, y) \quad (3)$$

(в частности,  $p(x)$  может быть принята равной некоторой постоянной  $C > \text{diam } R$ ). Для  $\varphi \in \Phi(B)$  положим

$$\|\varphi\| = \inf_{\varphi_0 \in \Phi_0(B)} \left[ \|\varphi_0\| + \int_R p(x) |\varphi(de) - \varphi_0(de)| \right],$$

где  $\|\varphi_0\|$  — норма, определенная для  $\varphi_0 \in \Phi_0(B)$ ; при этом инфимум всегда достигается.  $\Phi(B)$  — линейное нормированное пространство;  $\Phi_0(B)$  — его подпространство. Сопряженным с  $\Phi(B)$  является пространство  $\text{Lip}^1(R)$  функций  $u$  с нормой  $\|u\| = \max \left\{ \|u\|_{\sim}, \left\| \frac{u}{p} \right\|_{C(R)} \right\}$  ( $\|u\|_{C(R)} = \max_{x \in R} |u(x)|$ ).

Каждый линейный функционал в  $\Phi(B)$  имеет вид

$$L(\varphi) = \int_R u(x) \varphi(de), \quad \text{где } u \in \text{Lip}^1(R).$$

3. Задача перемещения масс и некоторые ее обобщения. Пусть неотрицательные функции  $\varphi_1, \varphi_2 \in \Phi(B)$  характеризуют первую — имеющееся и вторая — требуемое распределение масс в  $R$ , причем  $\varphi_1(R) = \varphi_2(R)$ . Для перехода от имеющегося состояния к требуемому необходимо совершить перемещение, характеризуемое функцией  $\psi \in \Psi_{\varphi}$ , где  $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$  ( $\psi(e, e')$  показывает количество массы, перемещаемое из  $e$  в  $e'$ ). Затраты по перемещению определяются интегралом  $\iint_{RR} r(x, y) \psi(de, de')$ .

Перемещение, переводящее имеющееся распределение в требуемое с минимальными затратами, назовем оптимальным.

Теорема 2\*. Для оптимальности перемещения, определяемого функцией  $\psi \in \Psi_{\varphi}$ , необходимо и достаточно, чтобы при некоторой  $u \in \text{Lip}^1(R)$

\* Эта теорема была установлена в (2), см. также (3).

$c \|u\| = 1$  условие  $u(x) - u(y) = r(x, y)$  выполнялось, если  $\psi(e, e') \neq 0$ , каковы бы ни были окрестности  $e, e'$  точек  $x, y$ .

Доказательство. Для любых  $\psi \in \Psi_\varphi$  и  $u \in \tilde{\text{Lip}}(R)$  с  $\|u\| = 1$  (2)

$$\begin{aligned} \|\varphi\| &\geq \int_R u(x) \varphi(de) = \\ &= \iint_{RR} [u(x) - u(y)] \psi(de, de') \leq \iint_{RR} r(x, y) \psi(de, de') \geq \|\varphi\|. \end{aligned} \quad (4)$$

По теореме Хана при некотором  $u$  в первом неравенстве имеет место знак равенства; если  $\psi$  — оптимальное перемещение, то и последнее неравенство заменяется равенством, а тогда двойные интегралы равны, и условие теоремы выполняется. Достаточность также следует из (4).

Допустим снова, что  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  задают имеющееся и требуемое распределение масс в  $R$ , но  $\varphi_1(R) < \varphi_2(R)$ . Теперь для перехода от имеющегося состояния к требуемому нужно предварительно произвести недостающую массу  $\varphi_2(R) - \varphi_1(R)$ , распределение которой будет характеризоваться неотрицательной функцией  $\varphi_3 \in \Phi(B)$ , а затем совершить перемещение, переводящее распределение  $\varphi_1 + \varphi_3$  в  $\varphi_2$ . Общие затраты на переход от имеющегося состояния к требуемому определяются величиной

$$\int_R p(x) \varphi_3(de) + \iint_{RR} r(x, y) \psi(de, de'),$$

где  $p(x)$  — затраты по производству единицы массы в точке  $x \in R$ ;  $\psi \in \Psi_\varphi$ ;  $\varphi = \varphi_1 + \varphi_3 - \varphi_2$ . Если на  $p(x)$  наложить естественные ограничения (3), то с помощью общего вида линейных функционалов в  $\Phi(B)$  можно установить следующий признак.

**Теорема 3.** Для оптимальности перехода, определяемого функциями  $\varphi_3 \in \Phi(B)$  и  $\psi \in \Psi_\varphi$ , необходимо и достаточно, чтобы при некоторой функции  $u \in \tilde{\text{Lip}}^1(R)$  с  $\|u\| = 1$  условия

$$u(x) - u(y) = r(x, y), \quad u(z) = p(z)$$

выполнялись, первое — если  $\psi(e, e') \neq 0$ , каковы бы ни были окрестности  $e, e'$  точек  $x, y$ ; второе — если  $\varphi_3(e'') \neq 0$  для любой окрестности  $e''$  точки  $z$ .

Рассмотрим теперь задачу перемещения масс с ограничениями на грузопотоки по отдельным путям\*. Пусть  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  — имеющееся и требуемое распределения масс в  $R$ ;  $\varphi_1(R) = \varphi_2(R)$ ; допустимы перемещения, характеризуемые функциями  $\psi \in \Psi_\varphi$  ( $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ ), для которых

$$\psi(e, e') \leq \bar{\psi}(e, e') \quad (e, e' \in B),$$

где  $\bar{\psi}(e, e')$  — данная положительная вполне аддитивная по каждому аргументу функция, принимающая как конечные, так и бесконечные значения; при этом естественно считать, что  $\bar{\psi}(e, e') = \infty$  при  $e \cap e' \neq \Delta$ .

**Теорема 4.** Для оптимальности допустимого перемещения, определяемого функцией  $\psi$ , необходимо и достаточно, чтобы при некоторой функции  $u \in \tilde{\text{Lip}}^1(R)$  выполнялись условия: 1)  $u(x) - u(y) = r(x, y)$ , если  $0 < \psi(e, e') < \bar{\psi}(e, e')$ , каковы бы ни были окрестности  $e, e'$  точек  $x, y$ ; 2)  $u(x) - u(y) \leq r(x, y)$ , если  $\psi(e, e') = 0$  для некоторых окрестностей  $e, e'$  точек  $x, y$ ; 3)  $u(x) - u(y) \geq r(x, y)$ , если  $\psi(e, e') = \bar{\psi}(e, e')$  для некоторых окрестностей  $e, e'$  точек  $x, y$ .

4. Задача планирования производства. Имеется множество  $M = \{\mu\}$  способов производства. Количество продуктов, производимых при  $\mu$ -м способе, характеризуется вполне аддитивной функцией  $\varphi_\mu$ , определенной на системе  $B$  борелевских множеств метрического компактного пространства (видов) продуктов  $R$  ( $\varphi_\mu$  принимает как положительные, так и отрицательные значения; последние означают затраты). Мно-

\* Эта задача для случая, когда  $R$  — конечное множество, рассмотрена в (4).



жество  $\{\varphi_\mu; \mu \in M\}$  предполагается ограниченным в  $\Phi^V(B)$  и замкнутым в  $\Phi(B)$ . Тогда множество  $M$  с метрикой  $r(\mu, \mu') = \|\varphi_\mu - \varphi_{\mu'}\|$  является компактным. План производства характеризуется неотрицательной вполне аддитивной функцией  $h(e)$ , определенной на борелевских множествах компакта  $M$ ; количество производимых при этом плане продуктов определяется функцией  $\varphi^h = \int_M \varphi_\mu \cdot h(de)$ .

Рассматривается задача \* составления плана, удовлетворяющего условиям  $\varphi^h + \bar{\varphi}_1 \geq k\bar{\varphi}_2$ ,  $k = \max$ , где  $\bar{\varphi}_1, \bar{\varphi}_2 \in \Phi(B)$  — данные неотрицательные функции, характеризующие первая — наличные ресурсы, вторая — необходимую сложность. Искомый план называется оптимальным.

**Теорема 5.** Если выполнено естественное условие:  $\varphi^h \geq 0$  влечет  $h(e) \equiv 0$  (означающее отсутствие нетривиального плана, при котором не производится никаких затрат), то существует оптимальный план  $h_0$  и ему отвечают такие оценки продуктов, определяемые функцией  $u \in \text{Lip}^1(R)$  ( $u(x) \geq 0$ ), что

$$\int_R u(x) \varphi_\mu(de) \leq 0$$

при всех  $\mu \in M$ , и для тех  $\mu$ , для которых  $h_0(e) \neq 0$  для любой окрестности  $e$  точки  $\mu$ , в последнем неравенстве имеет место знак равенства. Наоборот, если для некоторого плана  $h_0$   $\varphi^{h_0} + \bar{\varphi}_1 \geq k\bar{\varphi}_2$  и ему отвечают оценки продуктов  $u(x)$ , обладающие указанным свойством, причем  $u(x) = 0$ , если  $\varphi^{h_0}(e) + \bar{\varphi}_1(e) > k\bar{\varphi}_2(e)$  для любой окрестности  $e$  точки  $\mu$ , то план  $h_0$  оптимальный.

**Замечание 1.** План  $h$  называется условно оптимальным, если  $\varphi^h > -\bar{\varphi}_1$  и не существует плана  $h'$ , для которого  $\varphi^{h'} + \bar{\varphi}_1 \geq k(\varphi^h + \bar{\varphi}_1)$  при некотором  $k > 1$ . Каждый условно оптимальный план  $h$  является оптимальным при некоторой функции  $h_2$  ( $h_2 = \varphi^h + \bar{\varphi}_1$ ), поэтому и ему отвечают оценки продуктов, о которых шла речь в теореме.

**Замечание 2.** Применяя теорему 5 к весьма частному случаю, когда  $R$  состоит из совокупности отрезков вещественной прямой

$$I_i = [2iT, (2i+1)T] \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

получаем существование оптимального плана и отвечающих ему оценок продуктов для каждого момента времени в следующей задаче.

Имеется множество  $M = \{\mu\}$  способов производства продуктов  $n$  наименований, реализующихся в течение промежутка времени  $[0, T]$ . Количество продуктов, производимых при  $\mu$ -м способе, характеризуется функцией  $\varphi_\mu \in \Phi(B)$  (если промежуток  $e = [\alpha, \beta] \in I_i$ , то  $\varphi_\mu(e)$  показывает количество  $i$ -го продукта, производимого при  $\mu$ -м способе за промежуток времени  $[\alpha - 2iT, \beta - 2iT]$ ). Остальные условия такие же, как в рассмотренной задаче.

Из замечания 1 вытекает, что и каждому условно оптимальному плану соответствуют оценки продуктов для всех моментов времени.

Ленинградское отделение  
Математического института им. В. А. Стеклова  
Академии наук СССР

Поступило  
26 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> В. И. Гливенко, Интеграл Стильеса, 1936. <sup>2</sup> Л. В. Канторович, ДАН, 37, 227 (1942). <sup>3</sup> Л. В. Канторович, Усп. матем. наук, 3, в. 2, 225 (1948). <sup>4</sup> Л. В. Канторович, М. К. Гавурин, Сборн. Проблемы повышения эффективности работы транспорта, Изд. АН СССР, 1949, стр. 110—138. <sup>5</sup> Л. В. Канторович, ДАН, 115, № 3 (1957)

\* Эта задача для случая, когда  $R$  и  $M$  — конечные множества, рассмотрена в (5).

Н. М. КОРОБОВ

# ПРИБЛИЖЕННОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ КРАТНЫХ ИНТЕГРАЛОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ЧИСЕЛ

(Представлено академиком И. М. Виноградовым 21 VI 1957)

Рассмотрим функцию  $f(x_1, \dots, x_s)$ , имеющую период, равный единице, по каждой из переменных  $x_1, \dots, x_s$ . Будем предполагать, что  $f(x_1, \dots, x_s)$  разлагается в единичном  $s$ -мерном кубе в абсолютно сходящийся ряд Фурье:

$$f(x_1, \dots, x_s) = \sum_{m_1, \dots, m_s = -\infty}^{\infty} C(m_1, \dots, m_s) \exp[2\pi i(m_1 x_1 + \dots + m_s x_s)]. \quad (1)$$

Обозначим через  $\sigma$  сумму ряда, составленного из абсолютных величин коэффициентов Фурье:

$$\sigma = \sum_{m_1, \dots, m_s = -\infty}^{\infty} |C(m_1, \dots, m_s)|.$$

**Теорема 1.** Пусть  $p > s$  простое и  $\xi_v(k) = \left\{ \frac{k^v}{p^2} \right\}$  ( $v = 1, 2, \dots, s$ )\*.

Если в единичном  $s$ -мерном кубе производная  $\frac{\partial^{2s} f(x_1, \dots, x_s)}{\partial x_1^2 \dots \partial x_s^2}$  непрерывна и для любых целых  $j_1 < j_2 < \dots < j_r$  ( $1 \leq r \leq s$ ,  $1 \leq j_1, j_r \leq s$ ) производные  $\frac{\partial^{2r} f(x_1, \dots, x_s)}{\partial x_{j_1}^2 \dots \partial x_{j_r}^2}$  ограничены по модулю общей константой  $C$ , то при  $N = p^2$  справедлива оценка

$$\left| \int_0^1 \dots \int_0^1 f(x_1, \dots, x_s) dx_1 \dots dx_s - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N f[\xi_1(k), \dots, \xi_s(k)] \right| \leq \leq \frac{(s-1)\sigma}{\sqrt{N}} + \frac{sC}{10N}.$$

Доказательство теоремы основывается на следующей несложной лемме.

**Лемма.** Если хотя бы одно из целых  $m_1, \dots, m_s$  не делится на  $p$ , где  $p > s$  простое, то

$$\left| \sum_{k=1}^{p^2} \exp \left[ 2\pi i \frac{m_1 k + \dots + m_s k^s}{p^2} \right] \right| \leq (s-1)p.$$

**Доказательство.** Введем обозначения:

$$\varphi(k) = m_1 k + \dots + m_s k^s; \quad S = \sum_{k=1}^{p^2} \exp \left[ 2\pi i \frac{\varphi(k)}{p^2} \right].$$

\* Здесь  $\{A\}$  означает дробную долю числа  $A$ .



Разбивая интервал суммирования суммы  $S$  на части длины  $p$  и пользуясь очевидным сравнением

$$\varphi(x + py) \equiv \varphi(x) + \varphi'(x)py \pmod{p^2},$$

получим

$$\begin{aligned} S &= \sum_{x=1}^p \sum_{y=0}^{p-1} \exp \left[ 2\pi i \frac{\varphi(x + py)}{p^2} \right] = \\ &= \sum_{x=1}^p \exp \left[ 2\pi i \frac{\varphi(x)}{p^2} \right] \sum_{y=0}^{p-1} \exp \left[ 2\pi i \frac{\varphi'(x)y}{p} \right]. \end{aligned}$$

Степень многочлена  $\varphi'(x)$  меньше  $p$ ; его коэффициенты, в силу условий леммы, не все кратны  $p$ . Таким образом, обозначая через  $T$  число решений сравнения  $\varphi'(x) \equiv 0 \pmod{p}$ , получим:

$$|S| \leq \sum_{x=1}^p \left| \sum_{y=0}^{p-1} \exp \left[ 2\pi i \frac{\varphi'(x)y}{p} \right] \right| = Tp \leq (s-1)p.$$

Перейдем теперь к доказательству теоремы. В силу (1) имеем:

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N f[\xi_1(k), \dots, \xi_s(k)] = \quad (2)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{N} \sum_{m_1, \dots, m_s = -\infty}^{\infty} C(m_1, \dots, m_s) \sum_{k=1}^N \exp \{2\pi i [m_1 \xi_1(k) + \dots + m_s \xi_s(k)]\} = \\ &= C(0, \dots, 0) + \frac{1}{N} \sum_{m_1, \dots, m_s = -\infty}^{\infty} C(m_1, \dots, m_s) \sum_{k=1}^{p^2} \exp \left[ 2\pi i \frac{m_1 k + \dots + m_s k^s}{p^2} \right] \end{aligned}$$

(здесь  $\sum'$  означает суммирование по всем системам  $m_1, \dots, m_s$ , кроме системы  $m_1 = \dots = m_s = 0$ ). Замечая, что

$$C(0, \dots, 0) = \int_0^1 \dots \int_0^1 f(x_1, \dots, x_s) dx_1 \dots dx_s,$$

получим из (2):

$$\begin{aligned} &\left| \int_0^1 \dots \int_0^1 f(x_1, \dots, x_s) dx_1 \dots dx_s - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N f[\xi_1(k), \dots, \xi_s(k)] \right| = \\ &= \frac{1}{N} \left| \sum_{m_1, \dots, m_s = -\infty}^{\infty} C(m_1, \dots, m_s) \sum_{k=1}^{p^2} \exp \left[ 2\pi i \frac{m_1 k + \dots + m_s k^s}{p^2} \right] \right| \leq \\ &\leq \frac{1}{N} \sum_{m_1, \dots, m_s = -\infty}^{\infty} |C(m_1, \dots, m_s)| \left| \sum_{k=1}^{p^2} \exp \left[ 2\pi i \frac{m_1 k + \dots + m_s k^s}{p^2} \right] \right|. \quad (3) \end{aligned}$$

Обозначим через  $d$  общий наибольший делитель величин  $m_1, \dots, m_s$  и разобьем системы  $m_1, \dots, m_s$  на два класса, относя к первому классу системы, для которых  $d \equiv 0 \pmod{p}$ , и ко второму классу — все остальные системы. Применяя в случае систем первого класса тривиальную оценку

$$\left| \sum_{k=1}^{p^2} \exp \left[ 2\pi i \frac{m_1 k + \dots + m_s k^s}{p^2} \right] \right| \leq N$$

и пользуясь для систем второго класса оценкой, указанной в лемме, получим:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{N} \sum'_{m_1, \dots, m_s = -\infty}^{\infty} |C(m_1, \dots, m_s)| \left| \sum_{k=1}^{p^2} \exp \left[ 2\pi i \frac{m_1 k + \dots + m_s k^s}{p^2} \right] \right| \leq \\ & \leq \sum'_{d \equiv 0 \pmod{p}} |C(m_1, \dots, m_s)| + \frac{(s-1)p}{N} \sum_{d \not\equiv 0 \pmod{p}} |C(m_1, \dots, m_s)| \leq \\ & \leq \sum'_{m_1, \dots, m_s = -\infty}^{\infty} |C(m_1 p, \dots, m_s p)| + \frac{(s-1)\sigma}{\sqrt{N}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Пусть  $m_1, \dots, m_s$  — система целых чисел, не равных одновременно нулю. Предположим, что  $r$  из этих чисел отличны от нуля ( $1 \leq r \leq s$ ). Модули чисел, отличных от нуля, обозначим через  $n_1, \dots, n_r$ . Пользуясь равенством

$$C(m_1, \dots, m_s) = \int_0^1 \dots \int_0^1 f(x_1, \dots, x_s) \exp[-2\pi i(m_1 x_1 + \dots + m_s x_s)] dx_1 \dots dx_s,$$

в силу условий теоремы, после  $2r$ -кратного интегрирования по частям получим

$$|C(m_1, \dots, m_s)| \leq \frac{C}{(2\pi)^{2r}(n_1 \dots n_r)^2} = \frac{C}{(2\pi)^{2s}} \frac{(2\pi)^{2(\delta_{m_1} + \dots + \delta_{m_s})}}{[(|m_1| + \delta_{m_1}) \dots (|m_s| + \delta_{m_s})]^2}, \quad (5)$$

где величины  $\delta_{m_v}$  для  $v = 1, 2, \dots, s$  определены равенствами

$$\delta_{m_v} = \begin{cases} 1 & \text{при } m_v = 0, \\ 0 & \text{при } m_v \neq 0. \end{cases}$$

Но тогда

$$\begin{aligned} \sum'_{m_1, \dots, m_s = -\infty}^{\infty} |C(m_1 p, \dots, m_s p)| & \leq \frac{C}{(2\pi p)^{2s}} \sum'_{m_1, \dots, m_s = -\infty}^{\infty} \frac{(2\pi p)^{2(\delta_{m_1} + \dots + \delta_{m_s})}}{[(|m_1| + \delta_{m_1}) \dots (|m_s| + \delta_{m_s})]^2} = \\ & = C \left[ \left( \frac{1}{4\pi^2 p^2} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \frac{(2\pi p)^{2\delta_m}}{(|m| + \delta_m)^2} \right)^s - 1 \right] = C \left[ \left( 1 + \frac{1}{12p^2} \right)^s - 1 \right] \leq \frac{sC}{10p^2}, \end{aligned}$$

чем, в силу (3) и (4), теорема доказана.

Если частные производные функции  $f(x_1, \dots, x_s)$  удовлетворяют требованиям теоремы 1, то, в силу (5), выполняется оценка

$$|C(m_1, \dots, m_s)| \leq \frac{C_1}{[(|m_1| + \delta_{m_1}) \dots (|m_s| + \delta_{m_s})]^2},$$

где  $C_1$  — некоторая константа. Используя более тонкие теоретикочисловые оценки, можно при значительно меньших требованиях к функции  $f(x_1, \dots, x_s)$  обеспечить тот же порядок точности приближения интеграла соответствующей суммой, как и в теореме 1:

**Теорема 2.** Если существуют константы  $C_1$  и  $\varepsilon$  ( $0 < \varepsilon < 1$ ) такие, что для коэффициентов Фурье функции  $f(x_1, \dots, x_s)$  выполняется условие

$$|C(m_1, \dots, m_s)| \leq \frac{C_1}{[(|m_1| + \delta_{m_1}) \dots (|m_s| + \delta_{m_s})]^{1+\varepsilon}},$$



то для всякого простого  $p > \frac{s}{\varepsilon}$  при  $\xi_v(k) = \left\{ \frac{k^v}{p} \right\}$  ( $v=1, 2, \dots, s$ ) для  $N=p$  справедлива оценка

$$\left| \int_0^1 \dots \int_0^1 f(x_1, \dots, x_s) dx_1 \dots dx_s - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N f[\xi_1(k), \dots, \xi_s(k)] \right| \leq \frac{(s-1)\sigma}{\sqrt{N}} + \frac{7sC_1}{\varepsilon N} *.$$

В теоремах 1 и 2 выбор точек  $M_k = M_k[\xi_1(k), \dots, \xi_s(k)]$ , в которых вычисляются значения функции  $f(x_1, \dots, x_s)$ , зависит, очевидно, от величины  $N$ . Существуют, однако, такие способы выбора точек  $M_k$ , при которых  $N$  можно менять в сравнительно широких пределах, не меняя положения выбранных точек.

**Теорема 3.** Пусть  $p > s+1$  простое и  $\xi_v(k) = \left\{ \frac{k^{v+1}}{p^2} \right\}$  ( $v=1, 2, \dots, s$ ). Тогда, в предположении, что функция  $f(x_1, \dots, x_s)$  удовлетворяет условиям теоремы 1, для всякого  $N$  из интервала  $p < N < p^2$  выполняется оценка

$$\left| \int_0^1 \dots \int_0^1 f(x_1, \dots, x_s) dx_1 \dots dx_s - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N f[\xi_1(k), \dots, \xi_s(k)] \right| \leq \frac{(s-1)\sigma \ln N}{\theta N^{1-\frac{1}{2\theta}}} + \frac{sC}{10N^{\frac{1}{\theta}}}$$

(здесь  $\theta$  определяется равенством  $N = p^{2\theta}$  и, следовательно,  $\frac{1}{2} < \theta < 1$ ).

Аналогичные результаты можно получить и из теоремы 2, выбирая в ней  $p > s+1$ ,  $\xi_v(k) = \left\{ \frac{k^{v+1}}{p} \right\}$  и рассматривая интервал  $\sqrt{p} < N < p$ .

Точность оценки в теореме 3 значительно снижается для  $N$ , близких к  $p$ . От этого недостатка можно освободиться, определяя точки  $M_k[\xi_1(k), \dots, \xi_s(k)]$ , например, следующим способом: пусть  $p_1 < p_2 < \dots$  — последовательные простые числа;  $p_1 > s$ ; для  $t \geq 1$   $A(t) = p_1 + \dots + p_t - t$ ;  $A(0) = 0$ ; для  $t = 1, 2, \dots$  на интервалах  $A(t-1) < k \leq A(t)$  величины  $\xi_v(k)$  заданы равенствами

$$\xi_v(k) = \left\{ \frac{k^v}{p_t} \right\} \quad (v = 1, 2, \dots, s). \quad (6)$$

При таком выборе точек  $M_k$  их положение в единичном  $s$ -мерном кубе, очевидно, не зависит от  $N$ . Можно без труда показать, что при соответствующих предположениях относительно  $f(x_1, \dots, x_s)$  точность приближения интеграла суммой вида  $\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N f(M_k)$  имеет порядок, не превосходящий величины  $\frac{1}{\sqrt{N}}$  для любого  $N > p_1$ .

**Замечание.** В теоремах 1 и 2, а также в равенствах (6) можно при выборе  $\xi_v(k)$  без уменьшения точности оценок вместо величин  $\left\{ \frac{k^v}{p^2} \right\}$ ,  $\left\{ \frac{k^v}{p} \right\}$ ,  $\left\{ \frac{k^v}{p_t} \right\}$  пользоваться величинами  $\left\{ \frac{g^{vh}}{p^2} \right\}$ ,  $\left\{ \frac{g^{vh}}{p} \right\}$ ,  $\left\{ \frac{g_t^{vh}}{p_t} \right\}$ , где  $g$  и  $g_t$  — первообразные корни соответственно по модулям  $p^2$  и  $p_t$ .

Вопрос о приближенных формулах, удобных для вычисления кратных интегралов, подробно обсуждался на семинаре по методам Монте Карло в Математическом институте АН СССР. Работа семинара помогла выявлению наиболее естественных постановок задач, решения которых даны в настоящей работе. Я пользуюсь случаем выразить благодарность участникам семинара и, особенно, Н. Н. Ченцову.

Математический институт им. В. А. Стеклова  
Академии наук СССР

Поступило  
19 VI 1957

\* Доказательство этого и последующих утверждений в основном сходно с доказательством теоремы 1.

А. И. КОСТРИКИН и И. Р. ШАФАРЕВИЧ

# ГРУППЫ ГОМОЛОГИЙ НИЛЬПОТЕНТНЫХ АЛГЕБР

(Представлено академиком И. М. Виноградовым 26 III 1957)

В этой заметке изучаются верхние группы гомологий  $H^n(N, k)$ , где  $N$  — нильпотентная ассоциативная алгебра конечного ранга над произвольным полем  $k$ , а за  $N$  — операторный модуль коэффициентов — взято само поле  $k$ , на которое элементы  $N$  действуют нулевым образом. Все нужные для дальнейшего свойства групп гомологий можно найти в книге <sup>(1)</sup>.

Известно, что группа  $H^n(N, k)$  не изменится, если алгебру  $N$  заменить алгеброй  $A$ , получающейся из  $N$  формальным присоединением единицы. Таким образом получается любая алгебра, фактор-алгебра по радикалу которой изоморфна основному полю. Этим свойством обладает, в частности, групповая алгебра  $A$  конечной  $p$ -группы  $G$  над полем из  $p$  элементов. В этом случае группа  $H^n(A, k)$  совпадает с группой гомологий  $H^n(G, Z_p)$  группы  $G$  с коэффициентами в циклической группе порядка  $p$ .

Группа  $H^n(N, k)$  является векторным пространством конечной размерности над полем  $k$ . Размерность этого пространства обозначается через  $b_n$  и будет называться  $n$ -мерным числом Бетти алгебры  $N$ . Аналогичные обозначения будут применяться для групп  $H^n(G, Z_p)$ . Исследование чисел Бетти и является основной целью настоящей работы. Формулировка полученных в этом направлении результатов становится более естественной, если рассмотреть связанную с алгеброй  $N$  функцию Пуанкаре

$R_N(t) = \sum_{n=0}^{\infty} b_n t^n$ ; аналогичным образом определяется функция  $R_G(t)$ , где  $G$  — конечная  $p$ -группа.

Нами получены следующие результаты:

**Теорема 1.** Пусть  $N = N_1 + \dots + N_m$  — прямая сумма  $m$  нильпотентных алгебр;  $R_N(t) = R(t)$  и  $R_{N_i}(t) = R_i(t)$  — соответствующие им функции Пуанкаре. Тогда

$$\frac{1}{R(t)} - 1 = \sum_{i=1}^m \left( \frac{1}{R_i(t)} - 1 \right).$$

**Теорема 2.** Числа Бетти нильпотентной алгебры  $N$  связаны соотношениями

$$b_n - b_{n-1} + \dots + (-1)^n b_0 \geq \frac{1 + (-1)^n}{2}, \quad n = 1, 2, \dots, \quad (1)$$

которые могут быть записаны в виде

$$\frac{1}{1+t} R_N(t) \geq \frac{1}{1-t^2}. \quad (2)$$



Здесь соотношение  $F(t) \gg G(t)$  означает, что каждый коэффициент степенного ряда  $G(t)$  не превосходит соответствующего коэффициента  $F(t)$ .

В частности, при  $n = 2$  соотношение (1) дает  $b_2 \geq b_1$ . Для случая  $p$ -групп это показывает, что число неэквивалентных расширений циклической группы  $Z_p$  при помощи  $p$ -группы  $G$  не меньше, чем  $p^d$ , где  $d$  — число образующих  $G$ .

Умножая соотношение (2) на  $1 + t$ , получим

$$R_N(t) \gg \frac{1}{1-t},$$

откуда следует теорема 3.

**Теорема 3.** Числа Бетти нильпотентной алгебры и конечной  $p$ -группы положительны.

Оценку чисел Бетти сверху дает теорема 4.

**Теорема 4.** Для функции  $R_N(t)$ , соответствующей нильпотентной алгебре  $N$  ранга  $r$ , выполняется неравенство

$$R_N(t) \leq \frac{1}{1-rt}.$$

Для функции  $R_G(t)$ , соответствующей группе  $G$  порядка  $p^v$ , выполняется неравенство

$$R_G(t) \leq \frac{1}{(1-t)^v}. \quad (3)$$

**Следствие.** Радиус сходимости  $\rho$  ряда  $R_N(t)$  заключен в пределах

$$\frac{1}{r} \leq \rho \leq 1.$$

Радиус сходимости ряда  $R_G(t)$  равен 1.

Приведем несколько примеров.

1. Для циклической группы  $G$

$$R_G(t) = \frac{1}{1-t}.$$

Так как, в силу известных соотношений Кюннета, для прямого произведения  $G_1 \times G_2$  групп  $G_1$  и  $G_2$

$$R_{G \times G_2}(t) = R_{G_1}(t) \cdot R_{G_2}(t),$$

то для абелевой группы  $G$  с  $d$  образующими

$$R_G(t) = \frac{1}{(1-t)^d}.$$

2. Группа  $G$  является полупрямым расширением циклической группы при помощи циклической:

$$G = \{x, y\}, \quad x^{p^a} = y^{p^b} = 1, \quad x^{-1}yx = y^{1+u}, \quad (1+u)^{p^a} - 1 = mp^b;$$

$$a) m \equiv 0 \pmod{p}; \quad R_G(t) = \frac{1}{(1-t)^2};$$

$$b) (m, p) = 1;$$

$$R_G(t) = \frac{1}{(1-t)^2(1+t^2+t^4+\dots+t^{2(p-1)})} = \frac{1+t}{(1-t)(1-t^{2p})}.$$

3.  $N$  является фактор-алгеброй алгебры многочленов без свободного члена от  $d$  переменных по идеалу многочленов степени  $\geq 3$ ,

$$R_N(t) = \frac{(1+t)^d}{1 - \sum_1 \binom{i+1}{2} \binom{d+2}{i+2} t^{i+1}}.$$

4.  $N$  является фактор-алгеброй алгебры многочленов без свободного члена от двух переменных по идеалу многочленов степени  $\geq r$ ,

$$R_N(t) = \frac{1+t}{1-t-rt^2}.$$

5.  $N$  — приведенная свободная некоммутативная алгебра с соотношением  $N^r = 0$  и  $d$  образующими,

$$R_N(t) = \frac{1+dt}{1-d^r t^2}.$$

Эти и многие другие рассмотренные нами примеры позволяют высказать гипотезу, что для любой нильпотентной алгебры конечного ранга функция  $R_N(t)$  является рациональной функцией  $t$ . В случае конечной  $p$ -группы  $G$  все полюса функции  $R_G(t)$  являлись бы тогда корнями из 1.

В пользу этой гипотезы говорит и следующая теорема.

**Теорема 5.** Если все числа Бетти нильпотентной алгебры  $N$  над конечным полем  $k$  ограничены в совокупности, то  $R_N(t)$  — рациональная функция.

Следующий пример показывает, что существует бесконечно много алгебр с ограниченными числами Бетти.

$N$  имеет две образующие  $e_1$  и  $e_2$ ;  $N^5 = 0$ ;  $k$  — произвольное поле характеристики  $\neq 2$  и

$$e_2 e_1 = -e_1 e_2 + a e_1^3 + b e_1^2 e_2 + c e_1^4; \quad e_2^2 = f e_1^2 + g e_1^2 e_2 + h e_1^4;$$

$$e_1^3 e_2 = 0; \quad b \cdot f \left( f + \left( \frac{g-a}{b} \right)^2 \right) \neq 0;$$

$$R_N(t) = \frac{1+2t+2t^2+t^3}{1-t^4} = \frac{1+t+t^2}{1-t+t^2-t^3}.$$

Как известно, такую же функцию Пуанкаре имеет обобщенная группа кватернионов.

Доказательства сформулированных теорем легко следуют из рассмотрения специальной полной резольвенты

$$0 \xleftarrow{\partial_{n-1}} X_{-1} \xleftarrow{\partial_0} X_0 \leftarrow \dots \leftarrow X_{n-1} \xleftarrow{\partial_n} X_n \leftarrow \dots, \quad (4)$$

в которой

$$X_{-1} = k, \quad X_0 = A = \alpha e + N, \quad \alpha \in k, \quad e^2 = e, \quad e\gamma = \gamma, \quad \partial_0(\alpha e + \gamma) = \alpha(\gamma \in N).$$

Положив

$$\text{Ker}(\partial_n) = J_n,$$

мы обозначим минимальное число образующих  $J_n$  как  $A$ -операторного модуля через  $b_{n+1}$ . Как известно,  $b_{n+1}$  равно размерности линейного пространства  $J_n - NJ_n$ .

Мы положим

$$X_{n+1} = E^{b_{n+1}} \otimes A,$$

где  $E^{b_{n+1}}$  — линейное пространство над  $k$  размерности  $b_{n+1}$ , а  $\otimes$  означает тензорное произведение. Легко видеть, что числа  $b_n$  совпадают с числами Бетти алгебры  $N$ . При доказательстве теоремы 1 можно, конечно, ограничиться случаем  $m = 2$ . Пусть  $N = N_1 + N_2$ ,  $R_1(t) = \sum a_n t^n$ ,  $R_2(t) = \sum b_n t^n$ ,  $R(t) = \sum c_n t^n$ ;  $A_n$ ,  $B_n$  и  $C_n$  — ядра  $J_n$  соответствующих точных последовательностей типа (4). Очевидно, что

$$C_0 = A_0 + B_0,$$

$$C_1 = A_1 + B_1 + E^{a_1} \otimes B_0 + E^{b_1} \otimes A_0 = A_1 + B_1 + E^{a_1} \otimes C_0 + E^{b_1 - a_1} \otimes A_0.$$



По индукции отсюда легко следуют соотношения

$$C_{n-1} = A_{n-1} + B_{n-1} + \sum_1^{n-1} E^{d_i} \otimes C_{n-1-i} + \sum_1^{n-1} E^{b_i-d_i} \otimes A_{n-1-i}, \quad (5)$$

где

$$d_n = \sum_0^{n-1} (b_i - d_i) a_{n-i} \quad (d_0 = 0). \quad (6)$$

Из (5) и (6) следует, что

$$c_n = b_n + \sum_0^n d_{n-i} c_i, \quad b_n + \sum_0^n d_i a_{n-i} - \sum_0^n b_i a_{n-i} = 0,$$

т. е.

$$R(t) = R_2(t) + R(t) D(t), \quad (7)$$

$$R_2(t) + R_1(t) D(t) - R_1(t) R_2(t) = 0, \quad (8)$$

где

$$D(t) = \sum d_n t^n.$$

Из (7) и (8) легко следует теорема 1.

Теорема 2 следует из того, что в последовательности (4) ранги над полем  $k$  модулей  $X_n$  и  $J_n$  связаны соотношениями

$$r(X_n) = b_n(1 + r(N)) = r(J_n) + r(J_{n-1}).$$

По индукции отсюда получаем, что

$$r(J_{n-1}) = (b_{n-1} - b_{n-2} + \dots + (-1)^{n-1} b_0) (1 + r(N)) + (-1)^n,$$

откуда, ввиду того, что

$$b_n \geq \frac{r(J_{n-1})}{1 + r(N)},$$

легко следует теорема 2.

Теоремы 3, 4 и 5 аналогичным образом вытекают из рассмотрения последовательности (4). Исключением является только неравенство (3) из теоремы 4. Оно следует из того, что числа Бетти центрального расширения мажорируются числами Бетти прямого произведения. Этот факт известным образом выводится из рассмотрения спектральной последовательности Хохшильда — Серра.

*Примечание при корректуре.* Уже после сдачи рукописи в печать авторам стало известно, что аналогичной задачей занимается Б. Б. Венков. Результаты его, относящиеся к  $p$ -группам, частично совпадают с нашими.

Математический институт им. В. А. Стеклова  
Академии наук СССР

Поступило  
21 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

H. Cartan, E. Eilenberg, Homological Algebra, Princeton, 1956.

Н. А. ЛЕБЕДЕВ

# ОБ ОБЛАСТИ ЗНАЧЕНИЙ ОДНОГО ФУНКЦИОНАЛА В ЗАДАЧЕ О НЕНАЛЕГАЮЩИХ ОБЛАСТЯХ

Представлено академиком В. И. Смирновым 18 III 1957)

Пусть  $B$  и  $B^*$  — две произвольные односвязные области, лежащие в плоскости  $w$ , не имеющие общих точек и такие, что область  $B$  содержит точку  $w = 0$ , а область  $B^*$  — точку  $w = \infty$ . Пусть  $w = f(z)$ ,  $f(0) = 0$ , — функция, регулярная и однолистная в круге  $|z| < 1$  и отображающая круг  $|z| < 1$  на  $B$ , а  $w = F(\zeta)$ ,  $F(\infty) = \infty$ , — функция, регулярная и однолистная в  $1 < |\zeta| < +\infty$  и отображающая  $|\zeta| > 1$  на  $B^*$ . Множество пар функций  $(f(z), F(\zeta))$  указанного вида назовем классом  $\mathfrak{M}$ .

В работе находится область  $E$  значений величины  $\xi = f(z_0)/F(\zeta_0)$  при фиксированных  $z_0$  и  $\zeta_0$  соответственно из  $0 < |z_0| < 1$  и  $1 < |\zeta_0| < \infty$  в классе  $\mathfrak{M}$  (т. е. множество всех тех значений величины  $\xi$ , которые она принимает, когда пара функций  $(f(z), F(\zeta))$  пробегает весь класс  $\mathfrak{M}$ ).

Если  $(f(z), F(\zeta)) \in \mathfrak{M}$  и  $\varphi$  и  $\psi$  — вещественные числа, то  $(f(ze^{i\varphi}), F(\zeta e^{i\psi})) \in \mathfrak{M}$ . Отсюда заключаем, что область  $E$  значений величины  $\xi = f(z_0)/F(\zeta_0)$  совпадает с областью значений величины  $\xi = f(r)/F(\rho)$ ,  $r = |z_0|$ ,  $\rho = |\zeta_0|$ . Поэтому в дальнейшем полагаем  $z_0 = r$ ,  $\zeta_0 = \rho$ .

Легко доказать, что область  $E$  значений величины  $\xi$  есть замкнутое связное ограниченное множество с исключенной точкой  $\xi = 0$ . Нахождение области  $E$  сводится <sup>(1)</sup> к нахождению минимума  $J_0$  выражения

$$J = \left| \frac{f(r)}{F(\rho)} - a \right|$$

в классе  $\mathfrak{M}$  для произвольной точки  $a \in E$ .

Пусть  $(f(z), F(\zeta))$  — пара функций из  $\mathfrak{M}$ , для которой этот минимум  $J_0$  величины  $J$  реализуется. Функции такой пары назовем экстремальными. Опираясь на вариационный метод Г. М. Голузина <sup>(2)</sup>, получим: если  $(f(z), F(\zeta)) \in \mathfrak{M}$ , то при  $|h|$ , достаточно малом, классу  $\mathfrak{M}$  также принадлежит:

1) пара функций

$$f_*(z) = f(z) + h \frac{f(z)}{f(z) - w_0}, \quad F_*(\zeta) = F(\zeta) + h \frac{F(\zeta)}{F(\zeta) - w_0}, \quad (1)$$

если  $w_0$  — внешняя точка одновременно для областей  $B$  и  $B^*$ ;

2) пара функций

$$\begin{aligned} f_*(z) = f(z) + h \frac{f(z)}{f(z) - f(z')} - h \left( \frac{f(z)}{z'f'(z')^2} \right) \frac{zf'(z)}{z - z'} + \\ + \bar{h} \frac{\bar{f}(z')}{z'f'(z')^2} \frac{z^2f'(z)}{1 - z'z} + O(h^2), \\ F_*(\zeta) = F(\zeta) + h \frac{F(\zeta)}{F(\zeta) - f(z')} \end{aligned} \quad (2)$$

при  $|z'| < 1$ ;



### 3) пара функций

$$\begin{aligned} \hat{f}_*(z) &= f(z) + \frac{f(z)}{\bar{f}(z) - F(\zeta')}, \\ F_*(\zeta) &= F(\zeta) + h \frac{F(\zeta)}{\bar{F}(\zeta) - F(\zeta')} - h \left( \frac{F(\zeta')}{\zeta'^2 F'(\zeta')^2} \right) \frac{\zeta^2 F'(\zeta)}{\zeta - \zeta'} + \\ &+ \bar{h} \left( \frac{F(\zeta')}{\zeta'^2 F'(\zeta')^2} \right) \frac{\zeta F'(\zeta)}{1 - \bar{\zeta}' \zeta} + O(h^2) \end{aligned} \quad (3)$$

при  $|\zeta'| > 1$ .

Пусть  $(f(z), F(\zeta))$  — пара экстремальных функций из  $\mathfrak{M}$ , соответствующих некоторой точке  $a \in E$ , и  $(\hat{f}_*(z), F_*(\zeta))$  — варьированные функции, полученные по одной из пар формул (1), (2) или (3). Тогда

$$J_* = \left| \frac{\hat{f}_*(r)}{F_*(\rho)} - a \right| \geq \left| \frac{f(r)}{F(\rho)} - a \right| = J_0.$$

Опираясь на это неравенство и формулы (1), обычным способом<sup>(2)</sup> докажем, что области  $B$  и  $B^*$  в этом случае покрывают всю плоскость  $w$  в том смысле, что нет точек, внешних одновременно для обеих областей  $B$  и  $B^*$ . Если же воспользоваться формулами (2) и (3), то получим следующие два дифференциальных уравнения для экстремальных функций:

$$\begin{aligned} e^{-i\alpha} \frac{z \hat{f}'(z)^2}{\hat{f}(z)} \left( \frac{1}{\bar{f}(z) - F(\rho)} - \frac{1}{\bar{f}(z) - \bar{f}(r)} \right) &= \frac{A}{(r-z)(1-rz)}, \\ e^{-i\alpha} \frac{\zeta F'(\zeta)^2}{F(\zeta)} \left( \frac{1}{\bar{F}(\zeta) - F(\rho)} - \frac{1}{\bar{F}(\zeta) - \bar{f}(r)} \right) &= \frac{B}{(\rho-\zeta)(1-\rho\zeta)}, \end{aligned} \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} \alpha &= \pi - \arg \left\{ \left( \frac{\bar{f}(r)}{F(\rho)} - a \right) \frac{\bar{f}(r)}{F(\rho)} \right\}, \quad 0 \leq \alpha < 2\pi; \\ A &= e^{-i\alpha} \frac{r \hat{f}'(r)}{\hat{f}(r)} (1-r^2) > 0; \quad B = e^{-i\alpha} \frac{\rho F'(\rho)}{F(\rho)} (\rho^2 - 1) > 0. \end{aligned}$$

Из того, что величина  $J = \left| \frac{f(re^{i\varphi})}{F(\rho)} - a \right|$ ,  $-\pi < \varphi \leq \pi$ , достигает минимума при  $\varphi = 0$ , заключаем, что  $A$  — вещественное число. Из того, что величина

$$J = \left| \frac{f(\psi(r, t))}{F(\rho)} - a \right|,$$

где  $\psi(z, t)$  — решение уравнения Левнера

$$\begin{aligned} \frac{\partial \psi}{\partial t} &= -\psi \frac{1+k\psi}{1-k\psi}, \quad k = \text{const}, \\ |k| &= 1, \quad \psi|_{t=0} = z, \quad t \geq 0, \end{aligned}$$

достигает минимума при  $t = 0$ , заключаем, что  $A > 0$ . Аналогично доказываем, что  $B > 0$ .

Анализируя дифференциальные уравнения (4), заключаем, что области  $B$  и  $B^*$  имеют общей границей некоторую замкнутую простую аналитическую кривую.

Извлекая из обеих частей уравнений (4) квадратный корень и интегрируя первое из полученных равенств по  $z$  от 0 до  $r$ , а второе по  $\zeta$  от

$\rho$  до  $\infty$ , имеем

$$-e^{-i\alpha/2} K\left(\sqrt{\frac{\xi}{\xi-1}}\right) = \sqrt{A} K(r) = \sqrt{B} \frac{1}{\rho} K\left(\frac{1}{\rho}\right),$$

$$K(k) = \int_0^{\pi/2} \frac{du}{\sqrt{1-k^2 \sin^2 u}} \quad (5)$$

(под радикалом  $\sqrt{1-k^2 \sin^2 u}$  понимаем ту ветвь, которая обращается в единицу при  $u=0$ ).

Отметим в плоскости  $w$  точку  $F(1)$ . Пусть эта точка совпадает с точкой  $f(e^{i\varphi_0})$ ,  $\pi \leq \varphi_0 < 3\pi$ . Будем теперь интегрировать равенства, полученные из (4) после извлечения квадратного корня, по  $z$  от 0 до  $-1$ , затем по дуге  $|z|=1$  против часовой стрелки от  $-1$  до  $e^{i\varphi_0}$  и, наконец, по  $\xi$  от 1 до  $\rho$ . Складывая полученные при этом равенства, имеем

$$-e^{-i\alpha/2} K\left(\sqrt{\frac{1}{1-\xi}}\right) = \sqrt{A} \frac{1}{2} K(\sqrt{1-r^2}) +$$

$$+ \sqrt{B} \frac{1}{2\rho} K\left(\sqrt{1-\frac{1}{\rho^2}}\right) + \sqrt{A} K(r) \lambda i,$$

где  $0 \leq \lambda < 2$ .

Исключая из этого равенства числа  $\sqrt{A}$  и  $B$ , с помощью равенств (5) получим

$$\frac{K\left(\sqrt{\frac{1}{1-\xi}}\right)}{K\left(\sqrt{\frac{\xi}{\xi-1}}\right)} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{K(\sqrt{1-r^2})}{K(r)} + \frac{K\left(\sqrt{1-\frac{1}{\rho^2}}\right)}{K\left(\frac{1}{\rho}\right)} \right\} + i\lambda = \mu. \quad (6)$$

Теперь вместо параметра  $\alpha$  следует рассматривать параметр  $\lambda$ .

Из (6), опираясь на известные формулы (3) (стр. 321), имеем

$$\xi = \xi(\lambda) = -4^2 q \prod_{n=1}^{\infty} \left( \frac{1+q^{2n}}{1-q^{2n-1}} \right)^8, \quad q = e^{-\pi\mu}. \quad (7)$$

Отсюда заключаем, что  $\xi(\lambda)$  ( $0 \leq \lambda < 2$ ) — однозначная функция. При изменении  $\lambda$  в промежутке  $[0; 2)$  точка  $\xi = \xi(\lambda)$  описывает границу области  $E$  значений величины  $\xi = f(r)/F(\rho)$  в классе  $\mathfrak{M}$  (можно разыскать и экстремальные функции, соответствующие заданному  $\lambda$ ). Область  $E$  симметрична относительно вещественной оси.

Следствия.

1. Из формулы (7) имеем\*

$$\left| \frac{f(r)}{F(\rho)} \right| \leq -\xi(0) \leq \frac{r}{\sqrt{(1-r^2)(\rho^2-1)}}.$$

В первом из неравенств знак равенства реализуется<sup>†</sup> при всяких  $r$ ,  $0 < r < 1$ , и  $\rho$ ,  $1 < \rho < +\infty$ , во втором — только при  $\rho = 1/r$ .

2. В классе  $\mathfrak{M}$  имеем оценку ((3), стр. 321)

$$\left| \ln\left(1 - \frac{f(r)}{F(\rho)}\right) \right| \leq \ln(1 - \xi(0)) \leq \ln\left(1 + \frac{r}{\sqrt{(1-r^2)(\rho^2-1)}}\right)^{**}.$$

\* Оценка  $\left| \frac{f(r)}{F(\rho)} \right| \leq \frac{r}{\sqrt{(1-r^2)(\rho^2-1)}}$  получена другим способом Ю. Е. Аленицыным (4).

\*\* Под  $\ln(1-w)$  понимается та ветвь, которая обращается в нуль при  $w=0$ .

Здесь в первом из неравенств знак равенства реализуется при всяких  $r$  и  $\rho$ , во втором — только при  $\rho = 1/r$ .

3. Опираясь на формулы (7), получаем: область значений величины  $f'(0)/F(\rho)$  (или  $f(r)/F'(\infty)$ ) в классе  $\mathfrak{M}$  есть круг

$$\left| \frac{f'(0)}{F(\rho)} \right| \leq 4 \exp \left[ -\frac{\pi}{2} \frac{K(\sqrt{1-1/\rho})}{K(1/\rho)} \right]$$

$$\left( \left| \frac{f(r)}{F'(\infty)} \right| \leq 4 \exp \left[ -\frac{\pi}{2} \frac{K(\sqrt{1-r^2})}{K(r)} \right] \right) \quad (8)$$

с исключенным центром. Отсюда легко получаем известную оценку в классе  $\mathfrak{M}$ :

$$\left| \frac{f'(0)}{F'(\infty)} \right| \leq 1.$$

4. Область значений системы  $\left( |f(r)|, \frac{1}{|F(\rho)|} \right)$  в классе  $\mathfrak{M}$  определяется неравенствами

$$0 < |f(r)| \frac{1}{|F(\rho)|} \leq -\xi(0).$$

5. Пусть  $C$  — класс функций  $f(z)$ ,  $f(0) = 0$ , регулярных и однолистных в круге  $|z| < 1$  и удовлетворяющих там условию

$$f(z_1)f(z_2) \neq 1$$

(класс Бибераха — Эйленберга), и  $C'$  — подкласс однолистных функций из  $C$ . Из (7) следует, что область значений величины  $f(z)$  в классе  $C'$  есть замкнутая область с исключенной точкой  $\xi = 0$ , ограниченная кривой

$$\xi = \xi_1(\lambda) = 4iq^{1/2} \prod_{n=1}^{\infty} \left( \frac{1+q^{2n}}{1-q^{2n-1}} \right)^4,$$

$$q = e^{-\pi\mu_1}, \quad \mu_1 = \frac{K(\sqrt{1-|z|^2})}{K(|z|)} + i\lambda, \quad 0 \leq \lambda < 4.$$

Поступило  
15 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Н. А. Лебедев, Вестн. Ленинградск. унив., № 8, 29 (1955). <sup>2</sup> Г. М. Голузин, Геометрическая теория функций комплексного переменного, М.—Л., 1952. <sup>3</sup> И. М. Рыжик, И. С. Градштейн, Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений, М.—Л., 1951. <sup>4</sup> Ю. Е. Алъицын, ДАН, 115, № 6 (1957).



И. И. ПАРОВИЧЕНКО

# О ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВАХ, ВЕС КОТОРЫХ БОЛЬШЕ МОЩНОСТИ

(Представлено академиком П. С. Александровым 13 III 1957)

П. С. Урысон построил пример  $T_5$ -пространства (с единственной не-изолированной точкой) мощности  $\aleph_0$  и веса  $> \aleph_0$  ((<sup>1</sup>), стр. 206). Затем М. Бебутов и В. Шнейдер построили пример  $T_2$ -(но не  $T_3$ !) пространства мощности  $\aleph_0$ , вес в каждой точке которого больше мощности (<sup>2</sup>). Если взять  $R$ -минимальное пространство Hewitt'a — Катетова (<sup>3</sup>), полученное, например, из пространства рациональных чисел, то легко получится теорема существования счетных  $T_5$ -пространств (ср. 1,2 и 1,3 из (<sup>6</sup>)), вес в каждой точке которых больше мощности. Однако это еще не дает индивидуального примера такого пространства, так как (и это признает Катетов (<sup>3</sup>)) не удастся построить индивидуальное  $R$ -минимальное пространство. Кроме того и теорему существования аналогичных несчетных пространств не удастся доказать помощью  $R$ -минимальных пространств.

Настоящая статья посвящена следующим вопросам (мы пользуемся терминами и обозначениями из (<sup>6</sup>), в частности,  $\aleph_\alpha$  означает регулярное,  $\aleph_\lambda$  — иррегулярное и  $m$  — произвольное кардинальное число): а) подсчет мощности всех  $T_5$ -пространств мощности  $m$  и веса  $> m$ ; б) построение индивидуальных примеров таких пространств; в) построение индивидуального  $T_5$ -( $T_3$ )-пространства регулярной (иррегулярной) мощности  $\aleph_\alpha$  ( $\aleph_\lambda$ ), вес в каждой точке которого больше мощности; г) построение совсем простого счетного  $T_2$ -( $T_5$ )-пространства с несчетным весом в каждой (в одной) точке, а также счетного связного  $T_2$ -пространства с несчетным весом в каждой точке; е) отрицательное решение проблемы  $[ab]$ -компактности (для иррегулярных  $a$ ); ее решение, предпринятое в (<sup>4</sup>), содержит, как мне любезно сообщил П. С. Александров, пробел (неизбежность которого теперь и выясняется).

Так как, ввиду (<sup>6</sup>), множество всех  $T_5$ -пространств мощности  $m$  имеет мощность  $2^{2^m}$ , а множество всех  $T$ -пространств мощности и веса  $\leq m$  имеет мощность  $2^m$ , то мощность множества всех  $T_5$ -пространств мощности  $m$  и веса  $> m$  имеет мощность  $2^{2^m}$  — большую, чем мощность всех пространств мощности и веса  $\leq m$ , и а) осуществлено.

Пусть  $\mathfrak{S}_\lambda = \sum_{\nu < \lambda}^{(A)} \mathfrak{S}_{\nu+1}$  и  $\mathfrak{P}_\alpha = \mathfrak{S}_\alpha \times \mathfrak{S}_\alpha$  (<sup>6</sup>).

Лемма 1.  $\mathfrak{P}_\alpha$  есть  $T_1 \bar{T}_2^+ (\aleph_\alpha)$ -пространство, локальный вес которого  $> \aleph_\alpha$  (ср. 2,2 из (<sup>6</sup>)), а  $\mathfrak{S}_\lambda$  есть  $T_1 \bar{T}_2^+ (\aleph_\lambda)$ -пространство, локальный вес которого  $> \aleph_\lambda$ .

Первая часть леммы доказывается от противного с помощью 1,2 и 2,8 из (<sup>6</sup>) и того факта, что во всяком множестве  $P \subseteq \mathfrak{P}_\alpha$  содержится равномощное  $P$  собственное замкнутое подмножество.

Докажем вторую часть леммы. Ясно, что для произвольной точки  $x_0 \in \mathfrak{S}_\lambda$  псевдовес  $\psi(x_0) = \aleph_\lambda$  (ср. 2,7 из (<sup>6</sup>)), так что вес  $\chi(x_0) \geq \psi(x_0) =$

$= \aleph_\lambda$ , и нам остается показать, что  $\chi(x_0) > \aleph_\lambda$ , что мы осуществим от противного. Пусть  $\chi(x_0) = \aleph_\lambda$ . Итак, пусть  $\mathfrak{G}(x_0) = \{G^\xi(x_0)\}_{\xi < \omega_\lambda}$  — открытый базис  $\mathfrak{S}_\lambda$  в  $x_0$ , где  $G_\xi(x_0) = \bigcap_{\nu < \lambda} G_{\nu+1}^\xi$  и  $G_{\nu+1}^\xi$  ( $\xi < \omega_\lambda$ ) непусты и открыты в  $\mathfrak{S}_{\nu+1}$ , причем  $x_0 \in G_{\nu+1}^\xi$  ( $\xi < \omega_\lambda$ ). Полагаем  $G_{\nu+1} = (\bigcap_{\xi \leq \omega_\nu} G_{\nu+1}^\xi) \setminus y_{\nu+1}$ ,

где  $y_{\nu+1} \neq x_0$  и  $y_{\nu+1}$  принадлежит указанному пересечению. Ясно, что  $G(x_0) = \bigcup_{\nu < \lambda} G_{\nu+1}$  есть окрестность  $x_0$  в  $\mathfrak{S}_\lambda$ . Берем в базисе  $\mathfrak{G}(x_0)$  окрестность

$G^{\xi_0}(x_0) \subseteq G(x_0)$ ; тогда  $G_{\nu+1}^{\xi_0} \subseteq G_{\nu+1}$  для каждого  $\nu < \lambda$  и из определения  $G_{\nu+1}$  имеем  $\xi_0 > \omega_\nu$  для каждого  $\nu < \lambda$ , т. е.  $\xi_0 \geq \omega_\lambda$ . Но  $\xi_0 < \omega_\lambda$ , и мы получаем нужное противоречие.

**Определение.** Пусть  $\mathfrak{M}$  есть  $T$ -пространство и  $x_0 \in \mathfrak{M}$ . Через  $x_0(\mathfrak{M})$  условимся обозначать пространство, полученное из  $\mathfrak{M}$  ослаблением топологии путем объявления всех точек  $\mathfrak{M}$ , кроме  $x_0$ , изолированными.

**Лемма 2.** Если  $\mathfrak{M}$  есть  $T_1$ -пространство и  $x_0 \in \mathfrak{M}$ , то  $x_0(\mathfrak{M})$  есть  $T_5$ -пространство, причем веса  $\mathfrak{M}$  и  $x_0(\mathfrak{M})$  в  $x_0$  совпадают.

Теперь требуемое для б) сразу следует из вышеприведенных лемм.

Пусть  $M_\omega = \bigcup_{0 \leq n < \omega} M_n$ , где  $M_n$  суть попарно не пересекающиеся множества мощности  $m$  каждое,  $\varphi$  — однозначное отображение  $M_\omega \setminus M_0$  на  $M_\omega$ , подчиненное условиям: 1)  $\varphi(M_{n+1}) = M_n$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) и 2)  $\varphi^{-1}(x_n) = M_{n+1}^{x_n}$  имеет мощность  $m$  ( $x_n \in M_n$ ); пусть  $\mathfrak{M}_{n+1}^{x_n}$  — некоторое  $T_1 T_2^+$ -пространство, заданное на  $M_{n+1}^{x_n}$ . Тогда условимся ставить в соответствие множеству  $M_\omega$  пространство  $\mathfrak{M}_\omega$ , заданное на  $M_\omega$  окрестностями:

$$U(x_n) = x_n \cup G_{n+1}^{x_n} \cup \left\{ \bigcup_{i < \omega} \varphi^{-i}(G_{n+1}^{x_n}) \right\},$$

где  $x_n \in M_n$ ,  $G_{n+1}^{x_n}$  — произвольное непустое открытое множество в  $\mathfrak{M}_{n+1}^{x_n}$  и  $\varphi^{-i}$  определяются индуктивно:  $\varphi^{-2} = \varphi^{-1}\varphi^{-1}$  и т. д.  $\mathfrak{M}_\omega$  нульмерно и потому всегда является  $T_3$ -пространством.

**Лемма 3.** Вес  $\mathfrak{M}_\omega$  в  $x_n$  не меньше веса пространства  $\mathfrak{M}_{n+1}^{x_n}$ .

**Доказательство.** Будем представлять себе  $M_{n+1}^{x_n} \cup x_n$  как подпространство в  $\mathfrak{M}_\omega$ ; в этом подпространстве все точки  $M_{n+1}^{x_n}$  изолированы, и оно гомеоморфно пространству  $x_n(\mathfrak{M}_{n+1}^{x_n} \cup x_n)$ , где в скобках стоит пространство, полученное из  $\mathfrak{M}_{n+1}^{x_n}$  присоединением точки  $x_n$  по способу 2,3 из (6). Ввиду 2,3 из (6) и леммы 2 вес  $M_{n+1}^{x_n} \cup x_n \subseteq \mathfrak{M}_\omega$  в  $x_n$  равен весу  $\mathfrak{M}_{n+1}^{x_n}$ , а значит вес  $\mathfrak{M}_\omega$  в  $x_n$  не меньше веса  $\mathfrak{M}_{n+1}^{x_n}$ , что и требовалось доказать.

Полагая теперь тождественно  $\mathfrak{M}_{n+1}^{x_n} \equiv \mathfrak{S}_\lambda$  или  $\equiv \mathfrak{P}_\alpha$ , получаем  $T_3$ -пространство  $\mathfrak{M}_\omega$ , вес в каждой точке которого больше мощности. Если  $m = \aleph_\alpha$  и  $\mathfrak{M}_{n+1}^{x_n} \equiv \mathfrak{P}_\alpha$ , то, так как  $\mathfrak{M}_\omega$  тогда является  $\aleph_{\alpha+1}$ -бикompактным  $T_3^\alpha$ -пространством, ввиду 1,5 из (6)  $\mathfrak{M}_\omega$  является  $T_4$ -пространством, и так как все свойства, примененные для доказательства аксиомы  $T_4$ , наследственны, то  $\mathfrak{M}_\omega$  является  $T_5$ -пространством, и с) осуществлено.

**Примечание.** Если  $m = \aleph_0$  и  $\mathfrak{M}_{n+1}^{x_n} \equiv \mathfrak{Q}_0$  (6), то  $\mathfrak{M}_\omega$  гомеоморфно пространству рациональных чисел  $R$ , так что наше пространство  $\mathfrak{M}_\omega$  в общем случае получается ослаблением топологии в  $R$  (так как всякое счетное  $T_1$ -пространство получается ослаблением топологии  $\mathfrak{Q}_0$ ).

Пусть (как выше)  $R$  — пространство рациональных чисел с обычной топологией; через  $\tilde{R}$  обозначим пространство, полученное из  $R$  ослаблением топологии по правилу: замкнутыми множествами в  $\tilde{R}$  считаются все множества вида  $F \cup N$ , где  $F$  замкнуто, а  $N$  нигде не плотно в  $R$ .

Совсем легко видеть, что  $\tilde{R}$  есть  $F_2$ -пространство с несчетным весом в каждой точке; пространство  $x_0(\tilde{R})$  для любого  $x_0 \in \tilde{R}$  есть, ввиду элементарной леммы 2, счетное  $T_5$ -пространство с несчетным весом, более простое, чем пространство П. С. Урысона<sup>(1)</sup>. Далее, если при вершинах нижних оснований треугольников, которые служат Bing'у<sup>(5)</sup> для построения счетного связного  $T_2$ -пространства, брать вместо множеств  $\delta_1 \cap R$  и  $\delta_2 \cap R$  ( $\delta_1$  и  $\delta_2$  — интервалы на оси абсцисс) множества  $\delta_1 \cap (R \setminus N_1)$  и  $\delta_2 \cap (R \setminus N_2)$ , где  $N_1$  и  $N_2$  нигде не плотны в  $R$ , то получим счетное связное  $T_2$ -пространство с несчетным весом в каждой точке, и d) осуществлено.

Наконец, для реализации е) покажем, что изолированное пространство  $\mathfrak{E}_\lambda$  иррегулярной мощности  $\aleph_\lambda$  есть  $[\aleph_\lambda, \aleph_{\lambda+1}]$ -компактное пространство, для которого не выполнено свойство  $B'_{\aleph_\lambda, \aleph_{\lambda+1}}$ <sup>(2)</sup>, даже если для него считать покрытие не обозначенным, т. е. с попарно различными элементами. Пусть  $f$  — взаимно-однозначное отображение  $\mathfrak{E}_\lambda$  на  $\mathfrak{E}_\lambda$ ; берем в  $\mathfrak{E}_\lambda$  покрытие  $\mathfrak{B}_{\lambda+1}$  мощности  $\aleph_{\lambda+1}$ , в которое входят все одноточечные и некоторые другие множества, переводящиеся посредством  $f$  в собственные замкнутые множества  $\mathfrak{E}_\lambda$  (их можно считать попарно различными, так как вес  $\mathfrak{E}_\lambda$  больше  $\aleph_\lambda$ ). Так как  $\mathfrak{E}_\lambda$  есть  $\bar{T}_2(\aleph_\lambda)$ -пространство, то из  $\mathfrak{B}_{\lambda+1}$  нельзя выделить подпокрытие мощности  $< \aleph_\lambda$ , что и требовалось. Но требуемое  $\mathfrak{B}_{\lambda+1}$  можно построить еще проще: достаточно представить  $\mathfrak{E}_\lambda$  в виде соединения непересекающихся множеств  $\mathfrak{E}_\lambda = \mathfrak{E}_\lambda^0 \cup \mathfrak{E}_\lambda^1$ , мощности  $\aleph_\lambda$  каждое; тогда за  $\mathfrak{B}_{\lambda+1}$  можно принять соединение  $\mathfrak{E}_\lambda^0 \cup \tilde{\mathfrak{E}}_\lambda^1$ , где  $\tilde{\mathfrak{E}}_\lambda^1$  — покрытие  $\mathfrak{E}_\lambda^1$  мощности  $\aleph_{\lambda+1}$ .

Кишиневский государственный  
университет

Поступило  
12 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> П. С. Урысон, Труды по топологии, М.—Л., 1951. <sup>2</sup> М. Бебутов, В. Шнейдер, Уч. зап. МГУ, в. 13, матем., кн. 3, 157 (1939). <sup>3</sup> М. Катетов, Матем. сборн., 21 (63), № 1, 3 (1947). <sup>4</sup> Ю. Смирнов, Изв. АН СССР, сер. матем., 14, 155 (1950). <sup>5</sup> R. Bing, Proc. Am. Math. Soc., 4, № 3, 474 (1953). <sup>6</sup> И. И. Паровиченко, ЛАН, 115, № 5 (1957).



В. К. САУЛЬЕВ

# ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ЧИСЛЕННОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ УРАВНЕНИЙ ДИФфуЗИИ

(Представлено академиком С. Л. Соболевым 23 III 1957)

Будем решать уравнение

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad 0 < x < 1, \quad 0 < t \leq T, \quad (1)$$

с начальными условиями

$$u(x, 0) = f(x), \quad 0 \leq x \leq 1, \quad (2)$$

и граничными условиями

$$u(0, t) = u(1, t) = 0, \quad t > 0. \quad (3)$$

Введем обозначения:  $h^2/l = \omega = \text{const}$ ;  $m = \left[ \frac{T}{l} \right]$ ,  $h = \frac{1}{n}$  ( $n$  — целое число);  $h$  и  $l$  — шаги соответственно по  $x$  и  $t$ ;  $\varphi_{ih} = \varphi(ih, kl)$ ;  $\Delta\varphi_{ih} = (\varphi_{i, k+1} - \varphi_{i, k})/l$ ;  $\Delta^2\varphi_{ih} = (\varphi_{i-1, k} - 2\varphi_{i, k} + \varphi_{i+1, k})/h^2$ ;  $\|\varphi^{(k)}\| = \max_i |\varphi_{i, k}|$ ;  
 $\|A\| = \|a_{ij}\| = \max_i \sum_{j=1}^{n-1} |a_{ij}|$ ;  $\varphi^{(k)} = \{\varphi_{1, k}, \varphi_{2, k}, \dots, \varphi_{n-1, k}\}$  —  $(n-1)$ -мерный столбец-вектор.

Напомним два известных принципиально различных численных метода интегрирования задачи (1) — (3):

$$\begin{cases} 1) \Delta u_{i, k} = \Delta^2 u_{i, k} \\ 2) \Delta u_{i, k} = \Delta^2 u_{i, k+1} \end{cases} \left\{ \begin{array}{l} u_{i, 0} = f(ih); \quad u_{0, k} = u_{n, k} = 0 \\ (i = 1, 2, \dots, n-1; k = 0, 1, \dots, m-1). \end{array} \right.$$

«Явный» метод 1) прост, но для устойчивости требует чувствительного на практике ограничения на шаг  $l$ , именно  $l \leq h^2/2$ .

«Неявный» способ 2) значительно более сложен, чем способ 1), поскольку он требует для каждого  $k$  решения системы (правда, с якобиевой матрицей) линейных алгебраических уравнений  $(n-1)$ -го порядка. Однако способ 2) устойчив (в смысле ненакопления погрешностей) при любом соотношении между  $l$  и  $h^2$ , в силу чего на практике его предпочитают способу 1).

В данной заметке мы предлагаем метод, который столь же прост, как и метод 1), и вместе с тем является устойчивым при более слабом ограничении на шаг  $l$ . Схематически предлагаемый метод можно представить так: \* \* \* для четных  $k$  и \* \* \* для нечетных  $k$  (или наоборот) вместо \* \* \* и \* \* \* в случаях методов 1) и 2) соответственно.

Численный метод, о котором идет речь в этой заметке, записывается в виде следующих функциональных уравнений:

$$\begin{aligned} F_{l, 2k+1} &= \frac{1}{1+\omega} [F_{i-1, 2k+1} + F_{i+1, 2k} - (1-\omega) F_{l, 2k}], \\ F_{i, 0} &= f_{i, 0}, \quad F_{0, k} = F_{n, k} = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

для схемы  $\begin{smallmatrix} * & * \\ * & * \end{smallmatrix}$  (узлы по оси  $x$  просчитываются слева направо) и

$$F_{i, 2k+2} = \frac{1}{1+\omega} [F_{i+1, 2k+2} + F_{i-1, 2k+1} - (1-\omega) F_{i, 2k+1}], \quad (5)$$

$$[F_{i, 0} = f_{i, 0}], \quad F_{0, k} = F_{n, k} = 0$$

для схемы  $\begin{smallmatrix} * & * \\ * & * \end{smallmatrix}$  (узлы по оси  $x$  просчитываются справа налево).

В случае  $\omega = 1$ , т. е.  $h^2 = l$ , уравнения (4) и (5) принимают особенно простой вид:

$$F_{i, 2k+1} = 1/2 (F_{i-1, 2k+1} + F_{i+1, 2k}); \quad (6)$$

$$F_{i, 2k+2} = 1/2 (F_{i-1, 2k+1} + F_{i+1, 2k+2}) \quad (7)$$

соответственно.

Уравнения (6) и (7) равносильны следующему одному уравнению, позволяющему для любого  $i$  ( $1 \leq i \leq n-1$ ) непосредственно подсчитывать  $F_{i, 2k+2}$  по  $F_{j, 2k}$  ( $1 \leq j \leq n-1$ ) и граничным условиям:

$$F_{i, 2k+2} = \frac{1}{3} \left( 1 - \frac{1}{2^{2(n-i)}} \right) \left( \sum_{\gamma=0}^{i-2} \frac{1}{2^\gamma} F_{i-\gamma, 2k} + \frac{1}{2^{i-2}} F_{0, 2k+1} \right) +$$

$$+ \frac{1}{3} \sum_{\gamma=1}^{n-i-1} \frac{1}{2^\gamma} \left( 1 - \frac{1}{2^{2(n-i-\gamma)}} \right) F_{i+\gamma, 2k} + \frac{1}{2^{n-i}} F_{n, 2k+2}. \quad (8)$$

Погрешность, которая возникает от замены уравнения (1) уравнением (8) (или, что все равно, уравнениями (6) и (7)), определяется величиной

$$\tau_{i, 2k+2}^{(h)} h + O(h^2),$$

где

$$\tau_{i, 2k+2}^{(h)} = \frac{\partial^3 u_{i, 2k+2} / \partial x^3}{\frac{3 \cdot 2^{n-1} (2^{n-i} - 1)}{2^{2(n-i)} - 1} - 1}, \quad (9)$$

откуда видно, что если  $\partial^3 u / \partial x^3$  в точке  $x = ih$ ,  $t = (2k+2)l$  ограничена по абсолютному значению, то

$$\tau_{i, 2k+2}^{(h)} \rightarrow 0 \quad \text{при } h \rightarrow 0.$$

Если использовать для всех  $k$  либо только уравнение (4), либо только уравнение (5), то погрешность будет иметь вид  $O(h)$ , т. е. будет больше, чем в случае одновременного (поочередного) использования уравнений (4) и (5). В матричном виде уравнения (4), (5) будут

$$AF^{(2k+1)} = BF^{(2k)}, \quad F^{(0)} = u^{(0)}, \quad (10)$$

$$\tilde{A}^* F^{(2k+2)} = B^* F^{(2k+1)}, \quad k = 0, 1, \dots, \left[ \frac{m-2}{2} \right], \quad (11)$$

где  $A^*$  и  $B^*$  — матрицы, транспонированные соответственно к  $A$  и  $B$ .

Так как матрицы  $A$  и  $A^*$  являются двудиagonalными, метод (10), (11), как и метод 1), есть явный метод.

Для того чтобы численный алгоритм (10), (11) был устойчив, т. е. чтобы погрешности округления на  $(2k)$ -м слое не возрастали при переходе на  $(2k+2)$ -й слой, очевидно, достаточно (мы предполагаем, что погрешности округления в начальном и в граничном условиях равны нулю), чтобы выполнялось условие

$$\|A^{-1}B\| \leq 1, \quad (12)$$

что, как непосредственно проверяется, будет заведомо выполняться, если  $l \leq 2h^2$ .

В табл. 1 приведено распространение единичной ошибки для методов 1) и 6). (Относительно этого метода исследования см. (1).)

Таблица 1

	$i-4$	$i-3$	$i-2$	$i-1$	$i$	$i-4$	$i-3$	$i-2$	$i-1$	$i$
$k$					$\varepsilon$					$\varepsilon$
$k+1$				$\varepsilon$	$-\varepsilon$				$0,5\varepsilon$	$0,25\varepsilon$
$k+2$			$\varepsilon$	$-2\varepsilon$	$3\varepsilon$			$0,25\varepsilon$	$0,25\varepsilon$	$0,1875\varepsilon$
$k+3$		$\varepsilon$	$-3\varepsilon$	$6\varepsilon$	$-7\varepsilon$		$0,125\varepsilon$	$0,1875\varepsilon$	$0,1875\varepsilon$	$0,15625\varepsilon$
$k+4$	$\varepsilon$	$-4\varepsilon$	$10\varepsilon$	$-16\varepsilon$	$19\varepsilon$	$0,0625\varepsilon$	$0,125\varepsilon$	$0,15625\varepsilon$	$0,15625\varepsilon$	$0,13672\varepsilon$

Из таблицы видно, что в то время как в случае классической схемы 1) единичная ошибка после 4 шагов по оси  $t$  возросла в 19 раз, в случае схемы 6) при тех же условиях погрешность не только не возросла, но даже уменьшилась в  $\approx 7$  раз.

Приведем теперь схему доказательства сходимости метода (10)–(11) по крайней мере для случая, если выполнено условие (12). Введя вектор-ошибку  $\varepsilon^{(k)} = u^{(k)} - F^{(k)}$ , из (10), (11) имеем

$$\varepsilon^{(2k+2)} = C\varepsilon^{(2k)} + \delta^{(2k)}, \quad C = A^{*-1}B^*A^{-1}B,$$

откуда следует

$$\|\varepsilon^{(2k+2)}\| \leq \|C\| \|\varepsilon^{(2k)}\| + \|\delta^{(2k)}\|, \quad (13)$$

где  $\|\delta^{2k}\| = O(\tau^{(h)}h^3) + O(h^4)$ ;  $\tau^{(h)} = \max_{i,h} \tau_{i,2k+2}^{(h)}(\omega)$  (для  $\omega = 1$   $\tau_{i,2k+2}^{(h)}(\omega)$  совпадает с правой частью (9)).

Обозначая через  $\delta$  максимальную норму векторов  $\delta^{(h)}$  и принимая во внимание, что  $\varepsilon^{(0)} \equiv 0$ , из (13) имеем

$$\|\varepsilon^{(2k+2)}\| \leq \delta \sum_{i=0}^k \|C\|^i.$$

Из вышесказанного следует теорема:

**Теорема.** Если решение  $u(x, t)$  задачи (1)–(3) обладает ограниченными по абсолютному значению в области  $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq t \leq T$  производными четвертого порядка, то аппроксимирующая задача (4), (5), по крайней мере для  $\omega \geq 1/2$ , является устойчивой, а ее решение — функция  $F_{i,k}$  — сходится равномерно в  $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq t \leq T$  к  $u(x, t)$  со скоростью  $O(\tau^{(h)}h) + O(h^2)$ .

Практическое преимущество метода (4), (5) по сравнению с методами 1) и 2) может иметь место только при достаточно малых  $h$  и достаточно больших  $T$ , т. е. в тех случаях, когда доминирующим обстоятельством являются соображения устойчивости, а не сходимости.

Само собою разумеется, что новый метод может быть применен к более общим параболическим уравнениям (и системам), а также распространяется с соответствующими модификациями на случай, когда кроме  $t$  имеется еще две независимые переменные.

В заключение выражаю благодарность С. Л. Соболеву за ценные указания.

Поступило  
7 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> В. С. Рябенский, А. Ф. Филиппов, Об устойчивости разностных уравнений, М., 1956.



Ю. Л. ЯКИМОВ

# О НЕУСТАНОВИВШИХСЯ ДВИЖЕНИЯХ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ В УЗКИХ ОБЛАСТЯХ

(Представлено академиком М. А. Лаврентьевым 30 III 1957)

Рассмотрим плоско-параллельное неустановившееся потенциальное движение несжимаемой жидкости со свободной поверхностью в канале с плоским дном. Введем следующие обозначения:  $z = x + iy$  — физическая плоскость;  $\varphi$  — потенциал скорости;  $p_0$  — давление на свободной поверхности;  $g$  — ускорение силы тяжести;  $n$  — внешняя нормаль;  $S$  — длина дуги;  $V_n$  — проекция скорости на нормаль;  $\rho_0$  — плотность (см. рис. 1). Задача сводится к отысканию гармонической функции  $\varphi$  в области, ограниченной кривой  $y(x, t)$  и дном, при следующих граничных условиях:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial t} &= -\frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)^2 \right] - gy \\ \frac{\partial y}{\partial t} &= \frac{1}{\cos \theta} \frac{\partial \varphi}{\partial n} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{условие постоянства давления, (1)} \\ &y = y(x, t) \end{aligned} \quad \text{условие непротекания; (2)}$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0 \quad \text{при } y = 0 \text{ условие на дне канала. (3)}$$

Для решения этой задачи применим метод, приложенный М. А. Лаврентьевым для решения задач, связанных с установившимися течениями несжимаемой жидкости в узких областях, ограниченных свободной поверхностью.

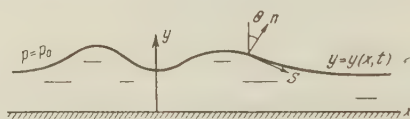


Рис. 1

Предположим, что область течения удовлетворяет условиям

$$kh < y(x, t) < ch; \quad \left| \frac{\partial y}{\partial x} \right| < k_1 h^{1/2}; \quad \left| \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right| < k_2 h; \quad \left| \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \right| < k_3 h^{1/2}$$

при одном и том же значении времени  $t$ , где  $h = h(t)$  — малая величина;  $k, k_1, k_2, k_3$  и  $C$  — константы, которые могут зависеть от времени  $t$ .

Тогда в каждый фиксированный момент времени мы находимся в условиях применимости формулы М. А. Лаврентьева, дающей приближенное конформное отображение области течения на бесконечную полосу шириной  $h$  (плоскость  $\zeta$ ). При этом модуль граничной производной равен

$$\left| \frac{\partial \zeta}{\partial z} \right|_{\substack{y=y(x,t) \\ t=\text{const}}} = \frac{h}{y(x, t)} \left\{ 1 + \frac{1}{3} y \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right\} + R; \quad |R| < Ah^{1/4},$$

где  $A$  зависит только от констант  $k, k_1, k_2, k_3$  и  $C$ .

В плоскости  $\zeta = \xi + i\eta$  область течения занимает полосу  $0 < \eta < h$ . Рассмотрим полосу  $-h < \eta < h$ . Пусть на ее границах

$$\varphi(\xi + ih) = \varphi(\xi - ih);$$

тогда формула Шварца задачи Дирихле для полосы  $-h < \eta < h$  имеет вид

$$\varphi = \operatorname{Re} \frac{1}{2h} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\varphi(\zeta)}{\operatorname{ch} \frac{\pi}{2h} (\xi - \zeta)} d\zeta, \quad \text{где } \varphi(\xi) = \varphi(\xi \pm ih);$$

условие на дне автоматически выполнено:  $\partial\varphi/\partial n = \partial\varphi/\partial\eta = 0$ .

Так как  $V_n = \frac{\partial\varphi}{\partial n} = \frac{\partial\varphi}{\partial\eta} \left| \frac{\partial\zeta}{\partial z} \right|$  на поверхности, то, чтобы найти  $V_n$ , нужно вычислить  $\partial\varphi/\partial\xi$ . Для этого представим

$$\varphi(\xi \pm ih) = \varphi_0 + (\xi - \xi_0) \left( \frac{\partial\varphi}{\partial\xi} \right)_{\xi=\xi_0} + \frac{1}{2} (\xi - \xi_0)^2 \left( \frac{\partial^2\varphi}{\partial\xi^2} \right)_{\xi=\xi_0} + \dots \text{ при } t = \text{const.}$$

Для вычисления производной  $\varphi_0$  несущественно, так как оно дает постоянное значение потенциала во всей области. Подставим разложение  $\varphi$  в интеграл Шварца. При этом мы не будем писать  $\varphi_0$  и члены с нечетными степенями  $(\xi - \xi_0)^{2n+1}$ , так как последние дают нечетные функции под интегралом, и поэтому интеграл от  $-\infty$  до  $+\infty$  от этих членов равен нулю:

$$\begin{aligned} \varphi &= \operatorname{Re} \frac{1}{2h} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sum_{n=1}^{\infty} (\xi - \xi_0)^{2n} \frac{1}{(2n)!} \frac{\partial^{2n}\varphi}{\partial\xi^{2n}}}{\operatorname{ch} \frac{\pi}{2h} (\xi - \xi_0 - i\eta)} d\xi = \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{2}{\pi} \right)^{2n} \frac{h^{2n}}{\pi (2n)!} \frac{\partial^{2n}\varphi}{\partial\xi^{2n}} \operatorname{Re} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\left[ \frac{\pi}{2n} (\xi - \xi_0) \right]^{2n} d \frac{\pi}{2h} (\xi - \xi_0)}{\operatorname{ch} \left[ \frac{\pi}{2h} (\xi - \xi_0) - i \frac{\pi}{2h} \eta \right]}; \\ \frac{\partial}{\partial\eta} \operatorname{Re} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\left[ \frac{\pi}{2h} (\xi - \xi_0) \right]^{2n} d \frac{\pi}{2h} (\xi - \xi_0)}{\operatorname{ch} \left[ \frac{\pi}{2h} (\xi - \xi_0) - i \frac{\pi}{2h} \eta \right]} &= - \frac{\pi^{2n+1}}{h} (2^{2n} - 1) |B_{2n}|, \end{aligned}$$

где  $B_{2n}$  — числа Бернулли.

Тогда

$$\frac{\partial\varphi}{\partial\eta} \Big|_{\xi_0} = - \sum_{n=1}^{\infty} h^{2n-1} \frac{2^{2n} (2^{2n} - 1)}{(2n)!} |B_{2n}| \left| \frac{\partial^{2n}\varphi}{\partial\xi^{2n}} \right|_{\xi_0} = - h \frac{\partial^2\varphi}{\partial\xi^2} \Big|_{\xi_0} + O(h^4).$$

Отсюда

$$\begin{aligned} \frac{\partial\varphi}{\partial n} &= \frac{\partial\varphi}{\partial\eta} \left| \frac{\partial\zeta}{\partial z} \right| = - \frac{h^2}{y} \left( 1 + \frac{1}{3} y \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) \frac{\partial^2\varphi}{\partial\xi^2} + O(h^{7/2}) = \\ &= - \frac{h^2}{y} \left( 1 + \frac{1}{3} \frac{h^2}{y} \frac{\partial^2 y}{\partial\xi^2} \right) \frac{\partial^2\varphi}{\partial\xi^2} + O(h^{7/2}). \end{aligned}$$

Кроме того

$$\left( \frac{\partial\varphi}{\partial x} \right)^2 = \left( \frac{\partial\varphi}{\partial\xi} \frac{\partial\xi}{\partial S} \frac{\partial S}{\partial x} \right)^2 = \left[ \frac{\partial\varphi}{\partial\xi} \left| \frac{\partial\zeta}{\partial z} \right| \cos\theta \right]^2 = \frac{h^2}{y^2} \left( 1 + \frac{2}{3} \frac{h^2}{y} \frac{\partial^2 y}{\partial\xi^2} \right)^2 \left( \frac{\partial\varphi}{\partial\xi} \right)^2 + O(h^{7/2}).$$

Так как  $\left( \frac{\partial\varphi}{\partial y} \right)^2 \sim \left( \frac{\partial\varphi}{\partial\eta} \right)^2 \sim h^4$ , то этим членом в условии (1) пренебрежем. Подставляя производные  $\varphi$  в условия (1) и (2), получим уравнения относительно неизвестных функций  $y(\xi, t)$  и  $\varphi(\xi, t)$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial\varphi}{\partial t} &= - \frac{1}{2} \frac{h^2}{y^2} \left( 1 + \frac{2}{3} \frac{h^2}{y} \frac{\partial^2 y}{\partial\xi^2} \right) \left( \frac{\partial\varphi}{\partial\xi} \right)^2 - gy + O(h^{7/2}), \\ \frac{\partial y}{\partial t} &= - \frac{h^2}{y} \left( 1 + \frac{1}{3} \frac{h^2}{y} \frac{\partial^2 y}{\partial\xi^2} \right) \frac{\partial^2\varphi}{\partial\xi^2} + O(h^{7/2}). \end{aligned} \quad (4)$$

Мы написали уравнения в плоскости  $(\xi, t)$ , теперь напомним их в плоскости  $(x, t)$ . Для этого заметим, что

$$\frac{\partial}{\partial \xi} = \frac{\partial x}{\partial S} \frac{\partial S}{\partial \xi} \frac{\partial}{\partial x} = \cos \theta \left| \frac{\partial z}{\partial \xi} \right| \frac{\partial}{\partial x} = \left[ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{\partial y}{\partial x} \right)^2 \right] \frac{y}{h} \left( 1 - \frac{1}{3} y \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) \frac{\partial}{\partial x} + O(h^{1/2}).$$

Заменим теперь в наших уравнениях все члены  $\partial^k / \partial \xi^k$  на  $\partial^k / \partial x^k$ , отбрасывая малые высших порядков. После замены получим в том же приближении

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial t} &= -\frac{1}{2} \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2 - gy + O(h^4), \\ \frac{\partial y}{\partial t} &= -y \left( 1 - \frac{1}{3} y \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - \frac{\partial y}{\partial x} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{1}{3} y^2 \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + O(h^{1/2}). \end{aligned} \quad (5)$$

В практике могут встретиться случаи, когда область течения  $\omega$  — физическая плоскость — не является узкой полосой, но известно конформное отображение узкой полосы плоскости  $z$  на область течения плоскости  $\omega$ :  $\omega = f(z)$ . Тогда, если  $S_\omega$  — длина дуги в физической плоскости, то

$$\frac{\partial \varphi}{\partial S_\omega} = \frac{\partial \varphi}{\partial S} \frac{\partial S}{\partial S_\omega} = \left| \frac{1}{f'(z)} \right| \frac{\partial \varphi}{\partial x} + O(h^3).$$

Если не учитывать силы тяжести (ее можно учесть), то уравнения примут вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial t} &= -\frac{1}{2} \left| \frac{1}{f'(z)} \right|^2 \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2, \\ \frac{\partial y}{\partial t} &= -\left| \frac{1}{f'(z)} \right|^2 \left[ y \left( 1 - \frac{1}{3} y \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial y}{\partial x} \frac{\partial \varphi}{\partial x} - \frac{1}{3} y^2 \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

Интегрирование нелинейных систем уравнений в частных производных (4), (6), по-видимому, представляет значительные трудности. Поэтому прежде всего интересны случаи, когда эта система в частных производных переходит в обыкновенные уравнения — это исследованные случаи установившихся течений в узких областях и случаи автомодельных постановок.

Проиллюстрируем сказанное на примере автомодельной задачи. Рассмотрим в физической плоскости  $\omega$  тонкий клин из жидкости, налетающий со скоростью  $V$  на абсолютно твердый клин, плоскость симметрии которого в плоскости  $\omega$  изображается отрицательной частью действительной оси. Плоскости симметрии жидкого клина при этом соответствует положительная часть действительной оси. Задача является автомодельной, так как характеризуется только двумя размерными величинами  $V$  и  $\rho$ .

Считая плоскость симметрии жидкого клина дном, сделаем преобразование на плоскость  $z$ :  $z = \omega^{1/h}$ ;  $f(z) = z^h$ ;  $h = 1 - \beta/\pi$ , где  $\beta$  — угол между щекой твердого клина и отрицательной частью действительной оси. Размерность  $[\omega] = L$  — длина, тогда  $[|z|] = [x] = [y] = [|\omega|^{1/h}] = L^{1/h}$ .

Уравнения движения для этого примера запишем в наиболее простой форме, оставив только главные члены. Очевидно, что приводимость уравнений в частных производных (6) к обыкновенным в случае автомодельности не зависит от того, сколько членов в уравнениях (6) мы сохраним:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = -\frac{1}{2} \frac{|z|^{2-2h}}{h^2} \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2, \quad \frac{\partial y}{\partial t} = -\frac{|z|^{2-2h}}{h^2} \left[ y \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial \varphi}{\partial x} \frac{\partial y}{\partial x} \right]. \quad (6')$$

Перейдем в этих уравнениях к безразмерным переменным по формулам

$$\begin{aligned} \lambda &= x V_0^{-1/h} t^{-1/h}; \quad \varphi = V_0^2 t \Phi(x); \quad y = V_0^{1/h} t^{1/h} Y(\lambda), \\ |z| &= \sqrt{x^2 + Y^2} = V_0^{1/h} t^{1/h} \sqrt{\lambda^2 + Y^2(\lambda)}, \end{aligned}$$

где  $V = CV_0$ ;  $V_0$  — константа размерности скорости.



Получим следующую систему обыкновенных уравнений:

$$k\Phi - \lambda\Phi = - \left| \frac{1}{2kz^{2k-2}} \right| (\Phi')^2; \quad Y - \lambda Y' = - \left| \frac{1}{kz^{2k-2}} \right| [Y\Phi'' + Y'\Phi']. \quad (6'')$$

Дифференцируя первое уравнение по  $\lambda$  и исключая затем из обоих уравнений  $\Phi''$ , получим вместо второго уравнения

$$Y' = Y \frac{\frac{2-k}{k}(\lambda^2 + Y^2)^{1-k} \Phi' - \lambda - 4(1-k)(\lambda^2 + Y^2)^{2k-1} \lambda (\Phi')^2}{-4 \left[ \frac{1}{2k}(\lambda^2 + Y^2)^{1-k} \Phi' - \frac{1}{2} \lambda \right]^2 + Y^{2k} (1-k)(\lambda^2 + Y^2)^{2k-1} (\Phi')^2}. \quad (7)$$

Разрешая первое уравнение системы (6) относительно  $\Phi'$ , получим уравнение

$$\Phi' = k \frac{\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 2(\lambda^2 + Y^2)^{1-k} \Phi}}{(\lambda^2 + Y^2)^{1-k}} = k \frac{\lambda - \sqrt{\lambda^2 - 2(\lambda^2 + Y^2)^{1-k} \Phi}}{(\lambda^2 + Y^2)^{1-k}}. \quad (8)$$

Начальными данными для уравнений (7) и (8) являются условия на бесконечности

$$-V = CV_0 = \left( \frac{\partial \varphi}{\partial \operatorname{Re} \omega} \right)_{\omega \rightarrow \infty} = \left| \frac{1}{k} z^{1-k} \right| \frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{V_0}{k} (\lambda^2 + Y^2)^{\frac{1-k}{2}} \Phi' \quad \text{при } \lambda = \infty, \\ \text{т. е.}$$

$$(\Phi')_{\lambda=\infty} = Ck(\lambda^2 + Y^2)^{\frac{k-1}{2}}.$$

Второе условие

$$\frac{\partial y}{\partial \operatorname{Re} \omega} = \operatorname{tg} \alpha \quad \text{при } \omega \rightarrow \infty.$$

В плоскости  $z$  это условие запишется в виде

$$\frac{\partial y}{\partial x} = y'_{\lambda=\infty} = \operatorname{tg} \frac{1}{k} \alpha = C_1.$$

Нетрудно убедиться, что уравнения (7), (8) допускают нужную асимптотику при  $0 < k < 3/4$ . Тривиальным решением уравнения (7) является  $Y \equiv 0$ . Следовательно, если мы потребуем, чтобы  $y(\lambda_1) = 0$ , то  $\lambda_1$  может быть только особой точкой уравнения (7). Такой точкой будет точка, где  $(\lambda^2 + Y^2)^{1-k} \Phi' - k\lambda = 0$  и  $Y = 0$ . Из (7) и (8) получим, что при

$1/2 < k < 3/4$ ,  $-\left(\frac{1}{4k^2}\right)^{\frac{1}{4k-2}} < \lambda$  и малых  $Y$  числитель (8) обращается в нуль только в особой точке  $\lambda_1$ , которая является узлом. Получим качественную картину поведения интегральных кривых, показанную на рис. 2.

Каждая интегральная кривая дает форму свободной поверхности в плоскости  $z$ , а так как нам известно конформное соотношение между формой свободной поверхности в физической плоскости.

В заключение отметим, что поскольку формула М. А. Лаврентьева, которой мы пользовались, допускает уточнение, то допускают уточнения и уравнения (4) и (5). Кроме того их можно обобщить на течения с криволинейным дном.

Московский государственный университет  
им. М. В. Ломоносова

Поступило  
28 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> М. А. Лаврентьев, Конформные отображения, 1946. <sup>2</sup> М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат, Введение в теорию функций комплексного переменного, 1951.  
<sup>3</sup> Л. И. Седов, Методы подобия и размерности в механике, М., 1954.

Е. П. ФЕДОРОВ

# О СИЛАХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЯДРА И ОБОЛОЧКИ ЗЕМЛИ, ВОЗНИКАЮЩИХ ВСЛЕДСТВИЕ НУТАЦИИ

(Представлено академиком В. Г. Фесенковым 2 IV 1957)

При рассмотрении вращательного движения оболочки Земли нужно учитывать как действие внешних возмущающих сил притяжения Луны и Солнца, так и сил взаимодействия между оболочкой и ядром. Пусть моменты этих сил равны, соответственно,  $L_s$  и  $N$ . Тогда

$$\dot{G} = L_s + N, \quad (1)$$

где  $G_s$  — кинетический момент оболочки. Обозначим через  $G$  кинетический момент всей Земли. Производная  $G$  по времени изображается, как известно, вектором, лежащим в плоскости экватора. Построим в этой плоскости координатные оси с началом в центре Земли; ось  $OX$  направим в точку весеннего равноденствия некоторой начальной эпохи. Тогда будем иметь:

$$\dot{G} = g(\sin \theta \dot{\psi} + i\dot{\theta}). \quad (2)$$

Здесь  $g$  — модуль вектора  $G$ ;  $\theta$  — наклонность эклиптики к экватору;  $\psi = f(t)$ ,  $\theta - \theta_0 = f'(t)$  — прецессия и нутация в долготе и наклонности. Функции  $f(t)$  и  $f'(t)$  представляют собою суммы вековых и периодических членов. Коэффициенты этих членов были вычислены на основе теории вращения абсолютно твердой Земли, но они не меняются и при любых иных допустимых предположениях о ее механических свойствах. В частности, для главного и полумесячного членов нутации мы имеем следующие теоретические выражения:

$$\begin{aligned} \sin \theta \dot{\psi} &= -6'',869 \sin \Omega - 0'',0812 \sin 2\varpi, \\ \dot{\theta} - \dot{\theta}_0 &= +9'',220 \cos \Omega + 0'',0834 \cos 2\varpi, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\Omega$  — долгота восходящего узла лунной орбиты и  $\varpi$  — средняя долгота Луны. По понятным соображениям мы пользуемся здесь тем значением постоянной нутации  $\gamma$ , которое получается теоретически на основании известного соотношения между этой постоянной, механическим сжатием Земли  $H$  и отношением  $\mu$  массы Луны к массе Земли:  $\gamma = 231981'',8H \frac{\mu}{1+\mu}$ . Мы приняли  $\gamma = 9'',220$  и с этим значением вычислили другие коэффициенты, причем у вторых членов правых частей уравнений (3) взяли их с большим числом знаков, чем у первых, поскольку из наблюдений выражение полумесячного члена нутации получается точнее.

Если бы взаимодействия между ядром и оболочкой Земли не было, т. е. если бы момент  $N$  в уравнении (1) можно было положить равным нулю, то, как легко понять, для производной  $G_s$  по времени мы получили бы выражение

$$\dot{G}_s = hg_s(\sin \theta \dot{\psi} + i\dot{\theta}), \quad (4)$$

в котором  $g_s$  — модуль вектора  $\mathbf{G}_s$  и  $h$  — отношение механического сжатия оболочки к механическому сжатию всей Земли. Выражением (4) можно заменить  $\mathbf{L}_s$  в уравнении (1).

Поскольку наблюдатель всегда связан с оболочкой Земли, из астрономических наблюдений мы можем получить правые части уравнений  $\dot{\psi}_r = \dot{f}_r(t)$ ,  $\theta_r - \theta_0 = f_r'(t)$ , описывающих движение именно вектора  $\mathbf{G}_s$ .

Определить из наблюдений коэффициенты всех членов нутации не представляется возможным, и мы ограничились только главным и полумесячным членами. Коэффициенты главного члена нутации были получены нами из анализа 135 тысяч наблюдений на широтных станциях Карлофорте, Мидзусава и Юкайя с 1900 по 1934 г. (1); при определении коэффициентов полумесячного члена нутации (2) мы приняли во внимание также результаты А. Я. Орлова (3) и Моргана (4), так что общее число наблюдений, на которых основаны значения этих коэффициентов, достигло 232 тысяч. Полученные нами результаты можно представить так:

$$\sin \theta \dot{\psi}_r = -6,853 \sin \Omega + 0,008 \cos \Omega - 0,0866 \sin 2\zeta + 0,0019 \cos 2\zeta, \\ \theta_r - \theta_0 = +9,198 \cos \Omega - 0,001 \sin \Omega + 0,0894 \cos 2\zeta + 0,0019 \sin 2\zeta. \quad (5)$$

Мы можем теперь определить  $\dot{\mathbf{G}}_s$  из наблюдений, если подставим (5) в формулу

$$\dot{\mathbf{G}}_s = g_s (\sin \theta \dot{\psi}_r + i \dot{\theta}_r). \quad (6)$$

Поскольку вектор  $\mathbf{N}$  лежит в плоскости экватора, его можно представить в виде  $X_n + iY_n$  и, имея в виду (1), записать

$$X_n + iY_n = g_s [\sin \theta (\dot{\psi}_r - h\dot{\psi}) + i(\dot{\theta}_r - h\dot{\theta})]. \quad (7)$$

Представляет интерес сравнить это выражение с тем, которое мы имели бы при полной связи между ядром и оболочкой, т. е. в случае, если бы ядро было твердым. Момент сил, действующих в этом случае со стороны ядра на оболочку, обозначим  $X'_n + iY'_n$ .

При невозможности движения ядра относительно оболочки момент  $\mathbf{G}_s$  практически коллинеарен  $\mathbf{G}$ . Отсюда следует, что для подстановки в (2) нужно теперь брать теоретическое выражение нутации (3), и мы получаем:

$$X'_n + iY'_n = g_s (1 - h) (\sin \theta \dot{\psi} + i\dot{\theta}). \quad (8)$$

Чтобы вычислить  $h$ , мы заимствовали у Буллена следующие данные (5):

$$\epsilon = \frac{C_n - A_n}{A_n} = 0,00260, \quad \frac{A_n}{A} = 0,112, \quad (9)$$

где  $C_n$  и  $A_n$  — главные моменты инерции ядра и  $A$  — экваториальный момент инерции всей Земли. С этими данными мы получаем  $h = 1,027$ . Подставим (3) в уравнение (8) и при этом представим  $\Omega$  и  $2\zeta$  в виде  $\Omega = \alpha t$ ,  $2\zeta = \beta t$ , причем  $\alpha = -0,000146 n$ ,  $\beta = 0,073 n$ , где  $n$  — угловая скорость вращения Земли и  $t$  — время. После простых преобразований получим

$$X'_n + iY'_n = \alpha g_s (0,217 e^{+i\alpha t} - 0,032 e^{-i\alpha t}) + \beta g_s (0,0023 e^{+i\beta t} - 0,0001 e^{-i\beta t}). \quad (10)$$

Момент сил, возникающих вследствие главного нутационного движения, можно, следовательно, представить в виде суммы двух векторов:

$$\mathbf{U}_1 = 0,217 \alpha g_s e^{+i\alpha t}, \quad \mathbf{U}_2 = -0,032 \alpha g_s e^{-i\alpha t}. \quad (11)$$

Поскольку  $\alpha$  отрицательно, первый вектор вращается в пространстве по часовой стрелке, второй — в противоположном направлении. Относительно



самой Земли оба вектора вращаются по часовой стрелке с угловыми скоростями  $-n + \alpha$  и  $-n - \alpha$  соответственно.

Момент, возникающий вследствие полумесячной нутации, также изображается двумя векторами:

$$\mathbf{V}_1 = 0,0023 \beta g_s e^{+i\beta t}, \quad \mathbf{V}_2 = -0,0001 \beta g_s e^{-i\beta t}. \quad (12)$$

Далее, подставляя (3) и (5) в уравнение (7), имеем:

$$\begin{aligned} X_n + iY_n = & \alpha g_s (0,236 e^{+i\alpha t} - 0,035 e^{-i\alpha t} + 0,004 i e^{+i\alpha t} - 0,004 i e^{-i\alpha t}) + \\ & + \beta g_s (-0,0010 e^{+i\beta t} - 0,0024 e^{-i\beta t} + 0,0019 i e^{+i\beta t}) = \\ = & (1,09 + 0,02i) \mathbf{U}_1 + (1,09 + 0,13i) \mathbf{U}_2 + (-0,43 + 0,83i) \mathbf{V}_1 + 24 \mathbf{V}_2. \end{aligned} \quad (13)$$

Затруднительно дать оценку точности полученного результата, но следует подчеркнуть, что нам приходится иметь дело с такими малыми величинами, которые едва улавливаются при анализе наиболее продолжительных рядов астрометрических наблюдений. Тем не менее, следующий вывод, имеющий пока только качественный характер, по-видимому, заслуживает доверия.

Влияние подвижности ядра относительно оболочки Земли имеет свои следствиями:

1. Увеличение модуля вектора  $\mathbf{U}_1$ .
2. Изменение направления вектора  $\mathbf{V}_1$  на обратное.
3. Отклонение векторов  $\mathbf{V}_1$  и  $\mathbf{V}_2$  в сторону, противоположную направлению вращения этих векторов относительно Земли.

Результаты 1 и 2 представляются на первый взгляд взаимно противоречивыми. Однако это противоречие легко разъяснить, если воспользоваться теорией вращательного движения Земли с жидким ядром, хотя бы в той ее наиболее простой форме, в какой эта теория была развита первоначально Ф. Слудским <sup>(6)</sup>, а позже А. Пуанкаре <sup>(7)</sup> и изложена в курсе гидродинамики Г. Ламба <sup>(8)</sup>. Для вычисления момента сил, действующих со стороны ядра на оболочку, возьмем следующие уравнения движения <sup>(8)</sup>, стр. 916):

$$\dot{\vec{\omega}} + F\dot{\vec{\omega}}_n - i(C - A)\vec{n}\dot{\vec{\omega}} + jF\vec{n}\dot{\vec{\omega}}_n = k e^{i\sigma t}, \quad (14)$$

$$F\dot{\vec{\omega}} + A_n\dot{\vec{\omega}}_n + iC_n\vec{n}\dot{\vec{\omega}}_n = 0. \quad (15)$$

Здесь  $\vec{\omega} = p + iq$ ;  $\vec{\omega}_n = p_n + iq_n$ ;  $p, q$  — проекции угловой скорости вращения Земли на две взаимно перпендикулярные оси, лежащие в плоскости экватора и неизменно связанные с оболочкой Земли;  $p_n, q_n$  — проекции на те же оси угловой скорости вращения ядра относительно оболочки (здесь вращением мы называем «эллиптическое вращение» в том смысле, который придавал этому термину Н. Е. Жуковский <sup>(9)</sup>);  $F$  — величина, имеющая размерность момента инерции и в рассматриваемом случае равная  $A_n \sqrt{1 - \varepsilon^2}$ .

Пусть  $\gamma = \frac{C_n - A_n}{C - A}$ . Уравнение (14) можно преобразовать к виду

$$A_s \dot{\vec{\omega}} - i(C_s - A_s)\vec{n}\dot{\vec{\omega}} = (1 - \gamma) k e^{i\sigma t} + X_n + iY_n,$$

где  $C_s, A_s$  — главные моменты инерции оболочки. При этом получается

$$X_n + iY_n = \gamma(X + iY) - A_n \dot{\vec{\omega}} - F\dot{\vec{\omega}}_n + i(C_n - A_n)\vec{n}\dot{\vec{\omega}} - iF\vec{n}\dot{\vec{\omega}}_n. \quad (16)$$

При отсутствии относительного движения ядра  $\omega_n = 0$ , и

$$X'_n + iY'_n = \gamma(X + iY) - A_n \dot{\vec{\omega}} + i(C_n - A_n)\vec{n}\dot{\vec{\omega}}. \quad (17)$$

Решение уравнений (14) и (15)

$$\vec{\omega} = -\frac{A_n \sigma + C_n n}{\Delta(\sigma)} i k e^{i \sigma t}, \quad \vec{\omega}_n = \frac{F \sigma}{\Delta(\sigma)} i k e^{i \sigma t}, \quad (18)$$

где

$$\Delta(\sigma) = \left| \begin{array}{cc} A\sigma - (C - A)n & F(\sigma + n) \\ F\sigma & A_n \sigma + C_n n \end{array} \right|. \quad (19)$$

После подстановки этих значений  $\vec{\omega}$  и  $\vec{\omega}_n$  в уравнения (16) и (17) и некоторых преобразований находим

$$\frac{X_n}{X'_n} = \frac{Y_n}{Y'_n} = 1 + \kappa(\sigma + n), \quad \kappa = \frac{F^2 \sigma}{S},$$

$$S = \gamma \Delta(\sigma) - (A_n \sigma + C_n n) [A_n \sigma - (C_n - A_n) n] \quad (20)$$

и, подставляя численные значения, получаем

Главный член нутации (вектор $U_1$ )	Полумесячный член нутации (вектор $V_1$ )
$\sigma = -n + \alpha = (-1 - 0,000146)n$	$-n + \beta = (-1 + 0,073)n$
$\Delta(\sigma) = -0,00028n^2 C^2$	$-0,00695n^2 C^2$
$S = +0,00001n^2 C^2$	$+0,00026n^2 C^2$
$\kappa n = -1400$	$-44$
$1 + \kappa(\sigma + n) = +1,20$	$-2,21$

Мы видим, что влияние подвижности ядра Земли должно, действительно, приводить к увеличению модуля вектора  $U_1$  и изменению направления вектора  $V_1$  на противоположное. Естественно предположить, что отклонение векторов  $V_1$  и  $V_2$  в сторону суточного вращения Земли, объясняется влиянием трения на границе ядра.

Количественного согласия выводов теории с данными наблюдений ожидать было, конечно, нельзя, хотя бы потому, что модель Земли, использованная при построении теории, является предельно упрощенной: в ней не учитываются, в частности, упругие деформации оболочки и вязкость ядра. Кроме того, влияние ядра на движение оболочки, вероятно, не ограничивается действием механических сил, возникающих на их границе; большую роль могут играть и иного рода силы, например магнитные.

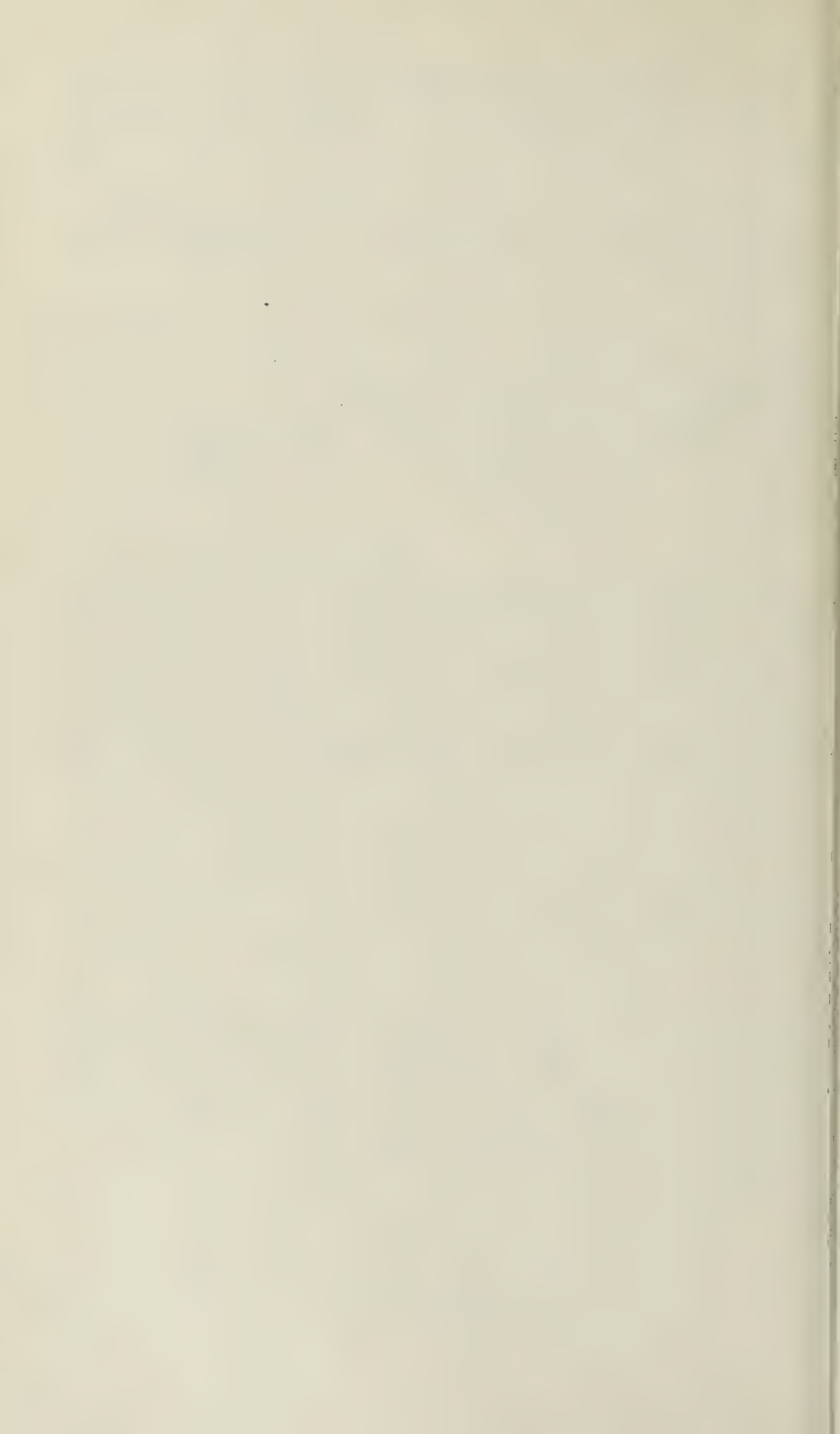
Для дальнейшего уточнения полученных результатов нужно проанализировать новые данные наблюдений. Существенный шаг в этом направлении можно будет сделать, когда будут опубликованы наблюдения Международной службы широты с 1935 по 1954 г.

Полтавская гравиметрическая обсерватория  
Академии наук УССР

Поступило  
1 IV 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Е. П. Федоров, Астр. циркуляр Бюро астр. сообщ. АН СССР, № 164, 10 (1955).
- <sup>2</sup> Е. П. Федоров, Астр. циркуляр Бюро астр. сообщ. АН СССР, № 148, 12 (1954).
- <sup>3</sup> А. Я. Орлов, Астр. циркуляр Бюро астр. сообщ. АН СССР, № 126, 19 (1952). <sup>4</sup> H. R. Morgan, Astr. J., 57, 232 (1952). <sup>5</sup> K. Bullen, Monthly Not. R. A. S. Geophys. Suppl., 3, 5 (1936). <sup>6</sup> F. Sloudsky, Bull. Soc. Natur. de Moscou, № 2 (1895).
- <sup>7</sup> H. Poinscaré, Bull. Astr., 27, 321 (1910). <sup>8</sup> Г. Ламб, Гидродинамика, 1949.
- <sup>9</sup> Н. Е. Жуковский, Избр. соч., 1, 31 (1948).





В. В. ГУЖАВИН и И. П. ИВАНЕНКО

# О ФУНКЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ В ЭЛЕКТРОННО-ФОТОННОМ ЛИВНЕ

(Представлено академиком Д. В. Скобельцыным 9 IV 1957)

В работе <sup>(1)</sup> был предложен способ расчета функций углового и пространственного распределения электронов в максимуме каскадного ливня. В данной работе предлагается метод вычисления более широкого класса функций по их известным моментам.

Рассмотрим функцию  $\Phi(r, s)$ , зависящую от параметра  $s$  (и ряда других параметров), определенную на промежутке  $0 \leq r < \infty$ , причем известно, что при  $r \rightarrow 0$

$$\Phi(r, s) = \frac{1}{r^{2-s}} \varphi(r, s); \quad (1)$$

здесь  $\varphi(r, s) = \text{const} \neq 0$ ;  $0 < s \leq 2$ .

Моменты по  $r$  функции  $\Phi(r, s)$ , определяемые формулой

$$\overline{r^n}_{\Phi}(s) = \int_0^{\infty} \Phi(r, s) r^n r dr \bigg/ \int_0^{\infty} \Phi(r, s) r dr, \quad (2)$$

считаем известными. Легко видеть, что

$$\overline{r^n}_{\Phi}(s) = \overline{r^{n+s-1}}_{\Phi}(s), \quad (3)$$

где  $\overline{r^m}_{\Phi}(r) = \int_0^{\infty} \varphi(r, s) r^m dr \bigg/ \int_0^{\infty} \varphi(r, s) dr$  есть  $m$ -й момент функции  $\varphi(r, s)$ .

Отметим, что во всех практически интересных случаях не удастся получить явного аналитического выражения для моментов  $\overline{r^n}_{\Phi}(s)$ . Обычно удается получить численные значения лишь нескольких первых моментов искомой функции распределения. Поэтому для вычисления функции  $\Phi(r, s)$  по моментам практически целесообразнее аппроксимировать ее некоторой другой функцией, первые несколько моментов которой совпадают с точными моментами искомой функции.

Аппроксимируем функцию  $\varphi(r, s)$  с помощью суммы полиномов  $R_n(\alpha r, s)$ :

$$\varphi(r, s) = e^{-\alpha r^{\beta}} \sum_{n=0}^N a_n(s) R_n(\alpha r, s). \quad (4)$$

Полиномы  $R_n(\alpha r, s)$  ортогональны на промежутке  $[0, \infty]$  с весовой функцией  $e^{-\alpha r^{\beta}}$ . Коэффициенты  $a_n(s)$  определим из условия ортогональности полиномов формулой

$$a_n(s) = \int_0^{\infty} \varphi(r, s) R_n^{+}(r, s) dr \bigg/ \int_0^{\infty} e^{-\alpha r^{\beta}} R_n(\alpha r, s) R_n^{+}(r, s) dr. \quad (5)$$

Коэффициенты  $a_n(s)$  выражаются через моменты искомой функции распределения. Естественно считать, что  $n$ -й коэффициент является линейной комбинацией первых  $n$  отличных от нуля моментов, поэтому полином  $R_n^+(r, s)$  (учитывая соотношение (3)) выражается формулой

$$R_n^+(r, s) = \sum_{m=0}^n c_m(s) r^{m+s-1}.$$

Отсюда легко написать условия, определяющие полиномы  $R_n(\alpha r, s)$  и  $R_n^+(r, s)$ :

$$\int_0^\infty r^{s+k n-1} e^{-\alpha r^\beta} R_n(\alpha r, s) dr = \begin{cases} 0 & \text{при } n' < n, \\ \text{const} \neq 0 & \text{при } n' = n; \end{cases} \quad (6a)$$

$$\int_0^\infty e^{-\alpha r^\beta} R_{n'}(\alpha r, s) R_n^+(r, s) dr = \delta_{n, n'}. \quad (6b)$$

Здесь  $\delta_{n, n'}$  — символ Кронекера;  $k$  — некоторая постоянная, равная целому числу. Коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  определяются из асимптотического поведения  $\varphi(r, s)$  при  $r \rightarrow \infty$ . Если поведение  $\varphi(r, s)$  при  $r \rightarrow \infty$  неизвестно, то  $\alpha$  и  $\beta$  определяются из условия равенства двух наивысших из используемых в (4) моментов весовой функции, соответствующих моментам искомой функции, т. е.

$$\int_0^\infty e^{-\alpha r^\beta} r^k dr \Big/ \int_0^\infty e^{-\alpha r^\beta} dr = \bar{r}_\Phi^k. \quad (7)$$

Отметим, что при  $\beta = 1, k = 1, s = 2$  условия (6) определяют полиномы, совпадающие с полиномами Лагерра. Положив  $\alpha$  равным минимальному значению суммарного коэффициента поглощения фотонов  $\tau_{\text{мин}}(E)$ , получим, что разложение (4) совпадает с аппроксимационной формулой, использованной в работах (2) при вычислении зависимости числа электронов и фотонов от глубины и энергии в каскадном ливне в легких и тяжелых веществах. Нам представляется, что предложенный способ аппроксимации функций по их известным моментам (смотри уравнения (4), (5), (6) и (7)) может быть с успехом применен при решении широкого круга задач. В данной работе мы применим этот способ для расчета функций пространственного распределения частиц в электронно-фотонном ливне. Известно (см., например, (3)), что функция распределения  $N_p(E_0, E, t, r) dt dr$ , дающая число электронов с энергией больше  $E$  на глубине  $t, t + dt$ , идущих на расстоянии  $r, r + dr$  от оси\*, в ливне, вызванном первичной частицей с энергией  $E_0$ , при  $r \rightarrow 0$  пропорциональна

$$N_p(E_0, E, t, r) \sim \frac{1}{r^{2-s}}, \quad (8)$$

где  $s$  — каскадный параметр.

Введем функцию  $N_p(E, r, s) = N_p(E_0, E, t, r) / N_p(E_0, E, t)$ , где  $N_p(E_0, E, t)$  — функция, описывающая одномерное развитие ливня (4). Нетрудно показать, что  $N_p(E, r, s) = N_p(x, s)$ , где  $x = Er/E_s, E_s = 21$  Мэв.

Учитывая (8), представим  $N_p(x, s)$  в форме

$$N_p(x, s) = \frac{1}{x^{2-s}} f(x, s). \quad (9)$$

Используя формулы (5), (4), (6), будем рассчитывать функцию  $f(x, s)$ , предполагая известными моменты функции  $N_p(E_0, E, t, r)$ . В результате получим следующие выражения для полиномов  $R_n(\alpha x, s)$  и  $R_n^+(x, s)$ :

\* Осью ливня мы называем прямую, продолжающую направление движения первичной частицы, вызвавшей ливень.

$$R_0(\alpha x, s) = \frac{\beta}{\varphi_0(s)} \alpha^{s/\beta}; R_1(\alpha x, s) = \frac{\beta}{\varphi_1(s)} \alpha^{(s+2)/\beta} [-\Gamma_1 + \varphi_0(s) \alpha^{1/\beta-1} \alpha x]; \quad (10)$$

$$R_2(\alpha x, s) = \frac{\beta}{\varphi_2(s)} \alpha^{(s+4)/\beta} [(\Gamma_1 \Gamma_4 - \Gamma_2 \Gamma_3) - (\Gamma_0 \Gamma_4 - \Gamma_2 \Gamma_2) \alpha^{1/\beta-1} \alpha x + \varphi_1(s) \alpha^{2/\beta-2} (\alpha x)^2],$$

$$\text{где } \Gamma_n = \Gamma\left(\frac{s+n}{\beta}\right); \varphi_0(s) = \Gamma_0; \varphi_1(s) = \Gamma_0 \Gamma_3 - \Gamma_1 \Gamma_2; \varphi_2(s) = \Gamma_0(\Gamma_3 \Gamma_6 - \Gamma_4 \Gamma_5) - \\ - \Gamma_2(\Gamma_1 \Gamma_6 - \Gamma_2 \Gamma_5) + \Gamma_4(\Gamma_1 \Gamma_4 - \Gamma_2 \Gamma_3);$$

$$R_0^+(x, s) = x^{s-1}; R_1^+(x, s) = -\frac{\Gamma_2}{\varphi_0(s)} \alpha^{-2/\beta} x^{s-1} + x^{s+1};$$

$$R_2^+(x, s) = \frac{1}{\varphi_1(s)} (\Gamma_5 \Gamma_2 - \Gamma_3 \Gamma_4) \alpha^{-4/\beta} x^{s-1} + \frac{1}{\varphi_1(s)} (\Gamma_1 \Gamma_4 - \Gamma_0 \Gamma_5) \alpha^{-2/\beta} x^{s+1} + x^{s+3}. \quad (11)$$

Используя формулы (5), (10), (11), получаем выражения для  $a_n(s)$ :

$$\begin{aligned} \bar{a}_0(s) &= 1; a_1(s) = -\frac{\Gamma_2 \alpha^{-2/\beta}}{\varphi_0(s)} + \bar{r}^2; \\ a_2(s) &= \frac{\Gamma_5 \Gamma_2 - \Gamma_3 \Gamma_4}{\varphi_1(s)} \alpha^{-4/\beta} - \frac{\Gamma_1 \Gamma_4 - \Gamma_0 \Gamma_5}{\varphi_1(s)} \alpha^{-2/\beta} \bar{r}^2 + \bar{r}^4, \dots \end{aligned} \quad (12)$$

Коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  определялись из условия (7), причем для  $\beta$  получили значения  $\sim 0,5$ . В работе (5) показано, что при  $r \rightarrow \infty$  функция  $N_p(E_0, E, r, t) \sim e^{-\alpha V \bar{x}}$ , поэтому при численных расчетах мы полагали  $\beta = 0,5$ , а  $\alpha$  определяли по (7). Величина  $N$  в (4) полагалась равной  $n/2$ , где  $n$  — номер наивысшего используемого в разложении момента.

Способом, аналогичным использованному в работах (6), нами были получены рекуррентные алгебраические соотношения для вычисления  $n$ -х угловых и пространственных моментов функций распределения частиц без учета ионизационных потерь. По этим формулам были получены численные значения  $\bar{r}^2, \bar{r}^4, \bar{r}^6$  функции пространственного распределения электронов в интервале значений каскадного параметра  $s$  от 0,4

Таблица 1

$x \backslash s$	0,4	0,6	0,8	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9
0	1,72	4,04	7,34	$1,21 \cdot 10^1$	$1,38 \cdot 10^1$	$1,36 \cdot 10^1$	$1,21 \cdot 10^1$	9,87
0,0001	1,59	3,79	6,96	1,16	1,33	1,32	1,17	9,58
0,0002	1,55	3,70	6,82	1,14	1,31	1,30	1,16	9,46
0,0005	1,46	3,52	6,52	1,10	1,27	1,26	1,13	9,23
0,001	1,37	3,33	6,21	1,06	1,22	1,22	1,09	8,98
0,002	1,25	3,08	5,80	1,00	1,16	1,16	1,05	8,62
0,005	1,06	2,64	5,08	8,93	1,05	1,06	9,62	7,97
0,01	$8,94 \cdot 10^{-1}$	2,24	4,36	7,87	9,35	9,56	8,73	7,29
0,015	7,91	1,98	3,89	7,13	8,56	8,82	8,12	6,81
0,02	7,17	1,80	3,53	6,56	7,93	8,25	7,62	6,43
0,04	5,42	1,32	2,63	5,08	6,28	6,68	6,28	5,36
0,06	4,43	1,08	2,10	4,16	5,24	5,67	5,41	4,67
0,1	3,24	$7,48 \cdot 10^{-1}$	1,48	3,04	3,93	4,37	4,23	3,74
0,15	2,36	5,39	1,04	2,21	2,94	3,36	3,34	2,99
0,2	1,79	4,09	$7,87 \cdot 10^{-1}$	1,69	2,31	2,69	2,72	2,47
0,6	$3,20 \cdot 10^{-2}$	$9,26 \cdot 10^{-2}$	1,55	$3,81 \cdot 10^{-1}$	$6,05 \cdot 10^{-1}$	$7,65 \cdot 10^{-1}$	$8,65 \cdot 10^{-1}$	$8,57 \cdot 10^{-1}$
1,0	$6,55 \cdot 10^{-3}$	2,79	$5,75 \cdot 10^{-2}$	1,33	2,16	3,10	3,80	4,03
1,5	1,88	$8,18 \cdot 10^{-3}$	1,94	$4,59 \cdot 10^{-2}$	$7,71 \cdot 10^{-2}$	1,22	1,56	1,84
2,0	$5,08 \cdot 10^{-4}$	2,71	$7,52 \cdot 10^{-3}$	1,85	3,21	$5,39 \cdot 10^{-2}$	$7,76 \cdot 10^{-2}$	$9,44 \cdot 10^{-2}$
2,5	1,54	$9,73 \cdot 10^{-4}$	3,17	$8,29 \cdot 10^{-3}$	1,41	2,55	3,95	5,12
3,0	$5,12 \cdot 10^{-5}$	3,67	1,42	4,00	$6,80 \cdot 10^{-3}$	1,27	2,10	2,90
3,5	1,85	1,46	$6,61 \cdot 10^{-4}$	2,04	3,32	$6,50 \cdot 10^{-3}$	1,15	1,73
4,0	$7,19 \cdot 10^{-6}$	$5,81 \cdot 10^{-5}$	3,16	1,11	1,75	3,40	$6,44 \cdot 10^{-3}$	1,01
4,5	3,03	2,37	1,54	$6,30 \cdot 10^{-4}$	$9,23 \cdot 10^{-4}$	1,81	3,65	$6,14 \cdot 10^{-3}$
5,0	1,38	1,01	$7,59 \cdot 10^{-5}$	3,72	5,26	$9,79 \cdot 10^{-4}$	2,08	3,77
5,5	$6,81 \cdot 10^{-7}$	$4,42 \cdot 10^{-8}$	3,76	2,28	3,04	5,25	1,19	2,33
6,0	3,59	2,08	1,86	1,45	1,92	2,87	$6,74 \cdot 10^{-4}$	1,45



до  $2,0^*$ , использованные нами при расчетах по формуле (4).

Полученные значения функции пространственного распределения  $x^{2-s}N_p(x, s)$  \*\* приведены в табл. 1. Значения  $N_p(x, s)$  получены с использованием  $\bar{r}^2$ ,  $\bar{r}^4$ ,  $\bar{r}^6$ .

Ряд по моментам (4) определяет функцию, только первые несколько моментов которой совпадают с точными. Высшие моменты этой функции будут отличаться от точных. Однако, учитывая, что асимптотическое поведение (4) совпадает с асимптотическим поведением точной функции при  $x \rightarrow \infty$ , можно ожидать, что высшие моменты функции (4) не будут значительно отличаться от точных и что функция (4) отличается от точной не более, чем на несколько процентов, в широком диапазоне значений  $x$ . Используя выражение  $N_p(x, s)$ , рассчитанное по 3 четным моментам, мы вычислили  $\bar{r}^8$  и  $\bar{r}^{10}$  для  $s = 1$ . Оказалось, что вычисленные значения  $\bar{r}^8$  и  $\bar{r}^{10}$  в пределах 10% совпадают с точными. Естественно считать, что значения  $\bar{r}^n$  в основном определяются некоторым конечным интервалом значений  $x$ , зависящим от  $n$ . Поэтому, сравнивая значения  $N_p(x, s)$ , построенные, например, по 2 и 3 первым четным моментам функции, можно определить границы применимости по  $x$  аппроксимации (4). Исследования показывают, что даже при использовании только первых 2 моментов, формула (4) позволяет рассчитать  $N_p(x, s)$  в интервале  $s$  от  $\sim 0,4$  до  $\sim 2$  и  $x$  от 0 до  $\sim 6$  с ошибкой, не превосходящей 10%.

В работе (6) по моментам были построены функции  $N_p(x, s)$  для  $s = 0,6$ ; 1; 1,5 способом графического подбора произвольной функции, первые несколько моментов которой совпадают с точными. При построении  $N_p(x, s)$  авторы существенно использовали результаты расчета Молиером (8) функции пространственного распределения, точной при малых  $x$  для  $s = 1$ . Проведенное в (1) сравнение функций  $N_p(x, s)$ , полученных в (6) и рассчитанных нашим методом при  $s = 1$ , показало, что в пределах 10% функции совпадают. При построении  $N_p(x, s)$  для  $s = 0,6$  и 1,5 авторы (6) предполагали, что характер поведения  $N_p(x, s)$  при  $x \rightarrow 0$  мало отличается от поведения  $N_p(x, s)$  при  $x \rightarrow 0$  при  $s = 1$ , и считали, что характер особенности при  $x \rightarrow 0$  для данного  $s$  не сказывается на поведении функции при  $x > 0,2 - 0,4$ .

Сравнение функций  $N_p(x, s)$  при  $s = 0,6$  и 1,5, взятых из (6) и рассчитанных по (4), показывает, что они существенно (примерно в 2 раза) отличаются друг от друга. При этом функции, построенные по (4) для  $s = 0,6$  и 1,5 в предположении, что  $N_p(x, s) \sim 1/x$ , гораздо лучше согласуются с функциями, полученными в (6).

Авторы выражают благодарность Н. С. Струниной за помощь при проведении численных расчетов.

Московский государственный университет  
им. М. В. Ломоносова

Поступило  
2 IV 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. В. Гужавин, И. П. Иваненко, ДАН, 113, № 3, (1957). <sup>2</sup> И. П. Иваненко, ЖЭТФ, 31, 86 (1956); ДАН, 107, 819 (1956). <sup>3</sup> И. Я. Померанчук, ЖЭТФ, 14, 1252 (1944); А. Б. Мигдал, ЖЭТФ, 15, 313 (1945). <sup>4</sup> С. З. Беленький, Лавинные процессы в космических лучах, 1948. <sup>5</sup> В. А. Chartress, H. Messel, Proc. Phys. Soc., A 67, 158 (1954). <sup>6</sup> L. E yges, Phys. Rev., 82, 23 (1951); L. E yges, S. Fernbach, Phys. Rev., 82, 288 (1951). <sup>7</sup> A. Borsellino, Nuovo Cim., 7, 323 (1950). <sup>8</sup> G. Molier e, Cosmic Radiation, N. Y., 1946.

\* Отметим, что рассчитанные нами значения  $\bar{\theta}^2$ ,  $\bar{\theta}r$  и  $\bar{r}^2$  для  $s$  от 1,1 до 1,9 на несколько процентов отличаются от значений, полученных Борселино (?).

\*\* Функция  $N_p(x, s)$  нормирована следующим образом:  $\int_0^\infty N_p(x, s) x dx = 1$ .

А. П. ЖДАНОВ, И. Б. БЕРКОВИЧ, К. И. ЕРМАКОВА, Ф. Г. ЛЕПЕХИН,  
Н. В. СКИРДА и З. С. ХОХЛОВА

# О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЧАСТИЦ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ С ЯДРАМИ

(Представлено академиком А. Ф. Исффе 4 IV 1957)

В настоящее время не существует теории, которая могла бы удовлетворительно описать механизм рождения элементарных частиц при нуклон-ядерных взаимодействиях в области энергий  $10^{11}$ — $10^{13}$  эв. Поэтому большой интерес представляет экспериментальное исследование указанных взаимодействий. Ниже описываются предварительные результаты анализа семи струй с относительно большим числом ливневых частиц, образовавшихся при взаимодействии нуклонов с ядрами эмульсии.

В результате просмотра части стопки эмульсий Илфорд G-5, облученной в течение 7 час. на высоте около 30 км, нами были отобраны струи, вызванные нейтральными и заряженными частицами. При анализе этих случаев были получены наиболее достоверные данные только о числе ливневых частиц и их угловом распределении. Углы между направлением движения первичной частицы и следами вторичных частиц измерялись на микроскопе МБИ-8 координатным методом <sup>(1)</sup>. Характеристики этих расщеплений представлены в табл. 1.

Для того чтобы получить наглядное представление об угловом распределении ливневых частиц в струе в лабораторной системе координат, мы представили графически зависимость  $\frac{1}{N} \int_0^\theta N(\theta) d\theta$  от  $\theta$  (в радианах). При

этом все струи разделились на три типа. Струи I типа, которые характеризуются наличием узкого конуса, имеют симметричное интегральное распределение (см. рис. 1). Ко II типу (см. рис. 2) относятся струи с гораздо большим конусом и большим числом заряженных частиц. Видно, что каждая кривая этого типа распадается на две части; одна из них подобна кривым рис. 1, а другая не обладает свойством симметрии. На рис. 3 представлено угловое распределение ливневых частиц для одной струи, на котором симметрия не наблюдается даже в области малых углов.

Любое теоретическое рассмотрение механизма рождения элементарных частиц <sup>(2, 3)</sup> исходит из симметричного разлета родившихся частиц в системе

Таблица 1  
Характеристики расщеплений \*

№ п.п.	$n_\lambda$	$N_T$	$Z_{\text{перв}}$	$\theta_{1/2}$ в рад.	$\varphi$ в град.	$l$ в м	Тип
1	28	8	0	$4,9 \cdot 10^{-2}$	14	760	1
2	18	10	$\leq 2$	$3,2 \cdot 10^{-2}$	6	500	1
3	27	9	0	$3,4 \cdot 10^{-2}$	13	900	1
4	46	16	$\leq 2$	0,13	4	1000	2
5	52	37	$\leq 2$	0,23	3	320	2
6	46	9	0	0,20	8	130	2
7	17	27	$\leq 2$	0,155	17	100	3

\* Обозначения:  $n_\lambda$  — число следов ливневых частиц;  $N_T$  — число черных и серых следов;  $Z_{\text{перв}}$  — предполагаемый заряд первичной частицы;  $\theta_{1/2}$  — угол, в котором содержится половина следов ливневых частиц;  $\varphi$  — угол наклона оси ливня к плоскости проявленной эмульсии;  $l$  — расстояние от начала ливня до точки, где велись измерения.

центра масс. Как показано в работе (4), такое распределение в системе центра масс должно получаться, если интегральное угловое распределение в лабораторной системе обладает симметрией определенного вида. На кривой в этом случае существует точка, по отношению к которой выполняется соотношение  $\ln \theta_f = -\ln \theta_{1-f}$ .

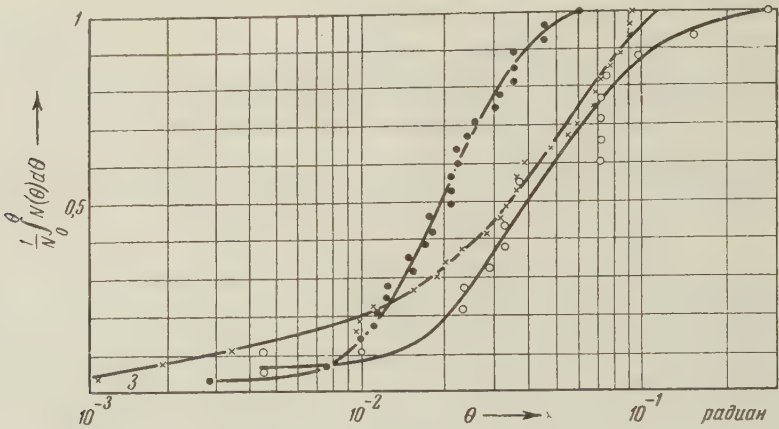


Рис. 1. Интегральное угловое распределение ливневых частиц в струях I типа (лабораторная система координат)

В трех случаях, как это видно из рис. 1, эта симметрия наблюдается на опыте. Точка симметрии примерно соответствует углу, в котором заключена половина наблюдаемых ливневых частиц. Таким образом, к этим случаям можно применить основные положения теории Ферми — Ландау, вычислить энергию первичной частицы оценить коэффициент множественности и

Таблица 2  
Энергия первичной частицы и коэффициенты множественности для струй I и II типов

$N_0 N_0$ п. п.	$F_{\text{лаб}}$ по $\theta_{1/2}$ в эв	$h = N_{\text{эксп}} \gamma^{-1/4} A^{-0,19}$	$E_{\text{лаб}}$ по симм. части кривой, в эв	$h$ по симм. части
1	$5,2 \cdot 10^{12}$	1,4	$5,2 \cdot 10^{12}$	1,4
2	$1,8 \cdot 10^{12}$	1,2	$1,8 \cdot 10^{12}$	1,2
3	$1,6 \cdot 10^{12}$	2,4	$1,6 \cdot 10^{12}$	2,4
4	$1 \cdot 10^{11}$	7	$1 \cdot 10^{13}$	2,0
5	$4 \cdot 10^{10}$	5	$1 \cdot 10^{12}$	3,6
6	$4 \cdot 10^{10}$	4	$2 \cdot 10^{12}$	2,9

построить угловое распределение в системе центра масс. Вычисленные значения энергий первичных частиц и коэффициентов множественности (см. табл. 2) хорошо согласуются с теоретическими выводами (3). За исключением струи 3 (рис. 4) угловое распределение в системе центра масс оказалось изотропным. Этот результат расходится с предсказаниями теории Ландау, но находится в согласии с другими экспериментальными данными (5-7).

Следующие три случая характеризуются широким конусом. Энергия, оцененная по углу  $\theta_{1/2}$ , оказывается малой и не согласуется с самой грубой оценкой нижней границы энергии по полному числу частиц. Коэффициент множественности оказывается большим (табл. 2). Экспериментальное значение множественности нельзя считать завышенным, так как вкладом электронно-позитронных пар можно пренебречь, поскольку расстояния, на которых производились измерения углов, значительно меньше радиационной единицы длины в эмульсии. Как указывалось выше, все три кривые распадаются на две части. Это говорит о более сложном характере углового распределения ливневых частиц при нуклон-ядерных взаимодействиях по сравнению с предсказываемым теорией (3). По-видимому, более правильно кинематическим методом можно оценить энергию первичной частицы, если использовать только симметричные части полученных кривых, так как из теоретических представлений и экспериментальных данных (8) вытекает,



что основная доля энергии первичной частицы уносится ливневыми частицами, идущими в очень узком конусе. Однако, если использовать таким образом полученные значения энергии первичных частиц для оценки коэффициента множественности, то оказывается, что их значения (табл. 2) не-

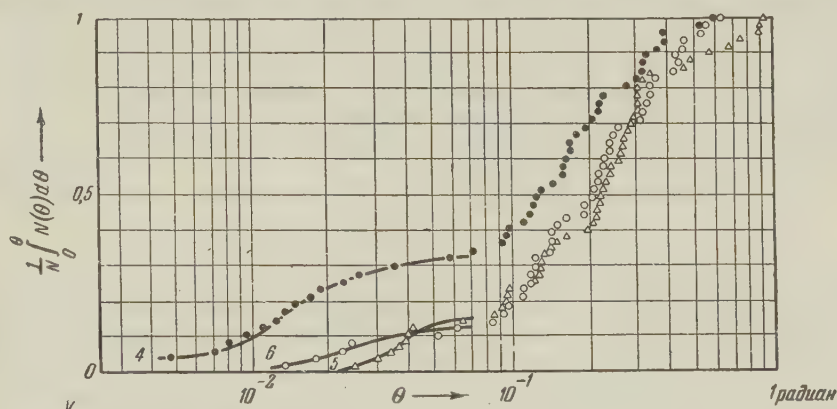


Рис. 2 Интегральное угловое распределение ливневых частиц в струях II типа. Выделены симметричные части распределения в области малых углов

сколько больше обычно принимаемых:  $k = 1,2 \div 2,3$ . Этот факт и наблюдаемое угловое распределение в струях II типа можно интерпретировать как указание на то, что при взаимодействии ливневых частиц с веществом ядра происходит не только их рассеяние, но и рождение новых частиц. Очевидно, что механизм рождения в струях этого типа сложнее, чем механизм множественного рождения.

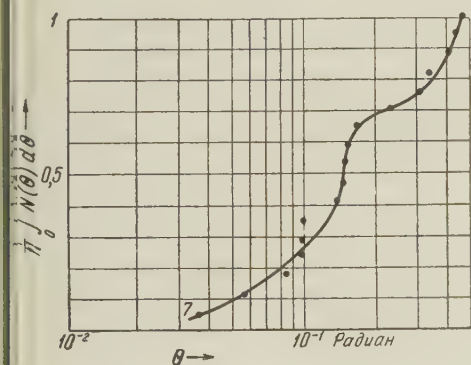


Рис. 3

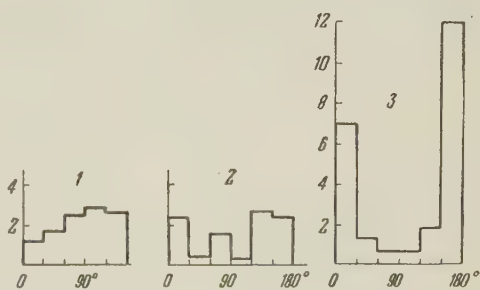


Рис. 4

Рис. 3. Интегральное угловое распределение ливневых частиц в расщеплении 7 (см. табл. 1)  
Рис. 4. Угловое распределение ливневых частиц в системе центра масс для расщеплений 1, 2, 3 (см. табл. 1)

В последнем случае угловое распределение ливневых частиц, на наш взгляд, кажется еще более сложным. При исследовании струи видно, что ливневые частицы группируются в виде двух конусов. Наблюдение подобного явления при столкновении нуклона даже с тяжелым ядром в области энергий примерно  $10^{13}$  эв и выше представляется маловероятным. Кинематический метод определения энергии первичной частицы в этом случае неприменим, но грубо она может быть оценена, если принять во внимание явление сжатия струй с возрастанием энергии первичной частицы. По этому признаку можно установить, что энергия первичной частицы в случае 7 меньше, чем в случаях 1—3 (табл. 1). Учитывая энергию первичной частицы,

приведенное угловое распределение и число родившихся частиц, можно заключить, что теория множественного рождения элементарных частиц не в состоянии объяснить этот случай. По-видимому в последних четырех струях число ливневых частиц и характер их углового распределения можно было бы объяснить, если предположить множественно-многократный характер процесса рождения частиц. Ясно, что дальнейшее накопление экспериментальных данных даст возможность получить более определенное представление о механизме рождения элементарных частиц при нуклон-ядерных взаимодействиях в области высоких энергий.

Радиевый институт им. В. Г. Хлопина  
Академии наук СССР

Поступило  
26 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> П. А. Жданов, И. Б. Беркович, Ф. Г. Лепехин, Н. В. Скирда, З. С. Хохлова, Приборы и техника эксперимента, № 4 (1957). <sup>2</sup> Э. Ферми, Усп. физ. наук, 46, 71 (1952). <sup>3</sup> С. З. Беленький, Л. Д. Ландау, Усп. физ. наук, 61, 3 (1955). <sup>4</sup> M. F. Kaplan, D. M. Ritson, Phys. Rev., 88, 386 (1952). <sup>5</sup> G. Bertolino, D. Pescetti, Nuovo Cim., 12, № 5 (1954). <sup>6</sup> A. Engler et al., Nuovo Cim., 12, № 6 (1954). <sup>7</sup> G. Bertolino, Nuovo Cim., 3, № 1 (1956). <sup>8</sup> M. Schein et al., Nuovo Cim., 1, № 3 (1955).

Р. Л. СТРАТОНОВИЧ

# ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ КВАНТОВЫХ ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

(Представлено академиком Н. Н. Боголюбовым 10 IV 1957)

Систематические методы вычисления термодинамически равновесных квантовых функций распределения, естественно, должны использовать хорошо разработанные приемы и понятия квантовой теории поля, поскольку в обоих случаях мы имеем дело с квантовой теорией многих частиц. В (5) методы теории поля применены к задаче вычисления свободной энергии взаимодействующих частиц. В настоящей работе будут выведены соотношения, касающиеся функций распределения, в форме, напоминающей результаты теории функций распространения.

Ограничимся моделью однокомпонентного нерелятивистского бозе-газа, хотя, конечно, возможно обобщение на другие случаи. Гамильтониан системы выбираем в виде

$$H = \int \left[ \psi^*(x') T_{x'x} \psi(x) + \frac{1}{2} \psi^*(x') \psi(x') \Phi(x' - x) \psi^*(x) \psi(x) \right] dx' dx \equiv \equiv \psi^* T \psi + \frac{1}{2} n \Phi n. \quad (1)$$

Справа приведена сокращенная форма записи, которой мы будем пользоваться в дальнейшем:  $n(x) = \psi^*(x) \psi(x)$ ;  $T = p^2/2m \equiv T_p$ ;  $\Phi(x' - x) = \Phi(x - x')$  — потенциал взаимодействия;  $\psi(x)$  — вторично квантованная волновая функция в трехмерном пространстве, удовлетворяющая перестановочным соотношениям

$$[\psi, \psi] = 0, \quad [\psi^*, \psi^*] = 0, \quad [\psi, \psi^*] = 1$$

(т. е.  $\psi(x) \psi^*(x') - \psi^*(x') \psi(x) = \delta(x - x')$ ).

Квантовые функции распределения  $f_r(x_1, x'_1; \dots; x_r, x'_r)$  суть функциональные производные в точке  $v = 0$  от производящего функционала

$$L[v] = \langle N \exp \int \psi^*(x') v_{x'x} \psi(x) dx' dx \rangle \equiv \langle N e^{\psi^* v \psi} \rangle, \quad (2)$$

где  $N$  — введенный Вико символ нормального произведения.

Функционал (2) является квантовым обобщением (4) классического производящего функционала (2, 3). От  $x, x'$  в (2) можно перейти к фазовым координатам  $x, p$  при помощи преобразования Вигнера. Если же положить  $v_{xx'} = v_x \delta(x - x')$ , то рассмотрение будет ограничено функциями распределения лишь в конфигурационном пространстве  $x$ .

Пользуясь операторным тождеством

$$\exp \psi^* v \psi = N \exp \psi^* (e^v - 1) \psi, \quad (3)$$

справедливым при указанных выше коммутационных соотношениях для  $\psi$  и  $\psi^*$ , можно преобразовать (2) к виду

$$L[v] = \text{Tr} \{ R \exp [\psi^* \ln(v + 1) \psi] \}. \quad (4)$$



Здесь  $\ln(v+1)$  следует понимать как оператор, являющийся аналитической функцией от оператора  $v$ . Оператор состояния  $R$  в случае термодинамического равновесия, соответствующего температуре  $kT = 1/\lambda$  и равномерной средней пространственной плотности частиц  $n_0$ , имеет вид

$$R = \exp(\lambda \Psi - \lambda H + \mu \psi^* \psi). \quad (5)$$

Согласно принятым нами сокращенным обозначениям здесь  $\psi^* \psi = \int \psi^* \psi dx$  — оператор полного числа частиц;  $\Psi = \int \varphi dx$  — свободная энергия ( $\varphi$  — ее плотность);  $\mu/\lambda$  имеет смысл химического потенциала. Величины  $\varphi$  и  $\mu$  определяются из условий

$$\text{Tr } R = 1; \quad \lambda \frac{\partial \Phi}{\partial \mu} = -n_0 \quad (6)$$

(последнее эквивалентно  $\langle n \rangle = n_0$ ).

Если оператор  $e^{-\lambda H}$  при помощи введенного Фейнманом <sup>(1)</sup> индекса упорядочения  $s$  записать в виде

$$\exp\left\{-\lambda \psi^* T \psi - \frac{\lambda}{2} n \Phi n\right\} = \exp\left\{-\int_0^\lambda \left[(\psi^* T \psi)_s + \frac{1}{2} (n \Phi n)_s\right] ds\right\}, \quad (7)$$

то в нем можно будет не обращать внимания на порядок записи оператора, поскольку порядок их действия полностью определен значениями индекса  $s$ .

Преобразуем в (7) член, обязанный взаимодействию. Для этого введем  $\xi_s(x)$  — гауссову случайную функцию от  $x$  и  $s$ , имеющую корреляционную функцию

$$M \xi_{s_1}(x_1) \xi_{s_2}(x_2) = \Phi(x_1 - x_2) \delta(s_1 - s_2) \quad (8)$$

и нулевое среднее значение  $M \xi_s(x) = 0$ . Здесь  $M$  обозначает статистическое усреднение по ансамблю реализаций введенной случайной функции. По известным правилам записи характеристической функции гауссова случайного процесса находим

$$\exp\left\{-\frac{1}{2} \int_0^\lambda ds \iint n_s(x') \Phi(x' - x) n_s(x) dx' dx\right\} = M \exp\left\{i \int_0^\lambda ds \int \xi_s(x) n_s(x) dx\right\}. \quad (9)$$

Принимая во внимание (4), (5), (7), (9), имеем

$$L[v] = e^{\lambda \Psi} M \text{Tr} \exp\left\{(\psi^* \ln(1+v) \psi)_0 + \mu \psi^* \psi - \int_0^\lambda (\psi^* T \psi)_s ds + i \int_0^\lambda (\psi^* \xi_s \psi)_s ds\right\}. \quad (10)$$

Таким образом, путем континуального преобразования Фурье задача сведена к рассмотрению невзаимодействующих частиц во флуктуационном внешнем поле. Символ  $M$  позволяет не выписывать подразумевающегося под ним континуального интегрирования с весом  $\text{const} \cdot \exp\left\{-\int \xi_s \Phi^{-1} \xi_s \frac{ds}{2}\right\}$ .

Вычисление следа по  $\psi^*, \psi$  приводит к результату

$$L[v] = e^{\lambda \Psi} M \exp\{-\text{Tr} \ln |1 - K - vK|\}, \quad (11)$$

где  $K = \exp\left[\mu - \int_0^\lambda T_s ds + i \int_0^\lambda \xi_s ds\right]$ ,  $\text{Tr}$  относится к операторам  $v, T, \xi_s$ .

Производя разложение функционала (11) по  $v$ , получаем

$$\lambda \Psi = -\ln f^{(0)}; \quad f_1(x, x') = \frac{f_{xx'}^{(1)}}{f^{(0)}}; \quad f_2(x, x'; y, y') = \frac{f_{xx'yy'}^{(2)} + f_{xy'yx'}^{(2)}}{f^{(0)}}; \dots \quad (12)$$

$$f_{x_1 x_1' \dots x_r x_r'}^{(r)} = M \exp \{ -\text{Tr} \ln |1 - K| \} \left( \frac{K}{1 - K} \right)_{x_1 x_1'} \dots \left( \frac{K}{1 - K} \right)_{x_r x_r'}. \quad (13)$$

При отсутствии взаимодействия  $K$  обращается в  $K_0 = e^{\mu - \lambda T}$ , а  $f^{(r)}$  — в соответствующие функции идеального газа, которые мы будем обозначать  $f^{(r)}$ . Рассмотрим обусловленное взаимодействием отклонение  $f^{(r)}$  от идеальных значений. Введем следующие функции  $F^{(r)}$ , описывающие это отклонение:

$$f^{(0)} = f^{(0)} F^{(0)}; \quad \frac{f^{(1)}}{f^{(0)}} = \frac{f^{(1)}}{f^{(0)}} + \frac{F^{(1)}}{F^{(0)}}; \\ \frac{f_{xx'yy'}^{(2)}}{f^{(0)}} = \frac{f_{xx'yy'}^{(0)}}{f^{(0)}} + \frac{f_{xx'yy'}^{(1)}}{f^{(0)}} \frac{F^{(1)}}{F^{(0)}} + \frac{F_{xx'}^{(1)}}{F^{(0)}} \frac{f_{yy'}^{(1)}}{f^{(0)}} + \frac{F_{xx'yy'}^{(2)}}{F^{(0)}}; \dots \quad (14)$$

Как следует из (11), (12), определенные так функции могут быть представлены суммой

$$\text{Tr} [F^{(r)} v_1 \dots v_r] = M \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{m_1, \dots, m_{j+r}=1}^{\infty} \frac{1}{m_1 \dots m_j} \text{Tr} [(kB)^{m_1}] \dots \\ \dots \text{Tr} [(kB)^{m_l}] \text{Tr} [v_1 B (kB)^{m_{l+1}}] \dots \text{Tr} [v_r B (kB)^{m_{l+r}}], \quad (15)$$

где  $k = K - K_0$ ;  $B = (1 - K_0)^{-1}$ ;  $r = 0, 1, 2, \dots$

Каждому члену этой суммы сопоставляется диаграмма, имеющая  $j$  замкнутых петель и  $r$  незамкнутых линий. На каждой линии имеется  $m_\alpha$  вершин  $k$ . Отрезку линии, соединяющему две вершины или идущему от вершины к краю диаграммы, соответствует оператор  $B$ , который в импульсном представлении имеет вид  $(1 - e^{\mu - \lambda T})^{-1} = f_0(p) + 1$ . До усреднения  $M$  вершине, лежащей между отрезками с импульсами  $p$  и  $p'$ , соответствует оператор

$$k_{p'p} = ie^{\mu} \int_0^{\lambda} ds \exp \{ (s - \lambda) T_{p'} - s T_p \} \xi_{sp'p} + \\ + i^2 e^{2\mu} \int_0^{\lambda} ds \int_0^s dt \exp \{ (s - \lambda) T_{p'} + (t - s) T_q - t T_p \} \xi_{sp'q} \xi_{tqp} dq + \dots \quad (16)$$

Моменты гауссовой случайной функции, как известно, выражаются через корреляционную функцию. Это значит, что при усреднении  $M$  все операторы  $\xi$  объединятся попарно всевозможными способами; на графике такое соединение вершин мы обозначим пунктирными линиями взаимодействия. (8) в импульсном представлении имеет вид

$$M \xi_{sp'p} \xi_{tk'h} = \delta(p' + k' - p - k) v(p' - p) \delta(s - t); \\ \left( v(x) = (2\pi)^{-3} \int e^{ixz} \Phi(z) dz \right). \quad (17)$$

Поэтому каждой линии взаимодействия соответствует  $v(x)$ , и ее можно интерпретировать как обмен квантом взаимодействия, причем имеет место сохранение импульса.

Число линий взаимодействия на диаграмме определяет порядок данного члена по степеням квадрата константы взаимодействия, иначе степень по

потенциалу взаимодействия  $\Phi$ . Вычисление членов, соответствующих диаграммам заданного порядка, позволяет находить точные члены разложения функций распределения в ряд по степеням  $\Phi$ .

Первая поправка, обусловленная взаимодействием, линейна по  $\nu$  и описывается диаграммами, имеющими лишь одну линию взаимодействия. На рис. 1 диаграммы  $a$ ,  $b$  и  $c$  — все возможные диаграммы, описывающие первую поправку к  $F^{(0)}$ , определенной суммой (15) ( $r = 0$ ). Графики  $b$  и  $c$  можно исключить из рассмотрения перенормировкой химического потенциала. Член  $b$  пропорционален  $\int \nu(x) dx = \Phi(0)$  и описывает самовоздействие частицы. Член  $c$ , пропорциональный  $\nu(0)$ , описывает среднее выталкивающее действие всего газа как целого. Не равные нулю величины  $\Phi(0)$  и  $\nu(0)$  можно исключить из  $\Phi(x)$ , заменив их добавочным равномерным внешним потенциалом  $\Phi(0) + \int \Phi n_0 dx$ , а последний включить в химический потенциал заменой  $\mu/\lambda - \Phi(0) - \int \Phi n_0 dx \rightarrow \mu/\lambda$ . Поэтому при вычислении первой поправки нужно принимать во внимание лишь диаграмму  $a$  для  $F^{(0)}$  и лишь  $z$  и  $d$  для функций  $F^{(1)}$  и  $F^{(2)}$ .

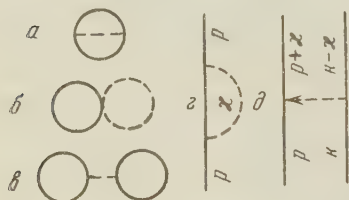


Рис. 1

соответственно. При подстановке выражения (16) в соответствующие члены (15) в данном приближении достаточно учесть лишь первый член этого выражения. После усреднения, приняв во внимание (17), будем иметь

$$F_{p'p}^{(1)} = -\delta(p' - p) \lambda f_0(p) [f_0(p) + 1] \int f_0(p + x) \nu(x) dx; \quad (18)$$

$$F_{p'pk'h}^{(2)} = -\delta(p' + k' - p - k) \nu(p' - p) f_0(p') f_0(k') f_0(p) f_0(k) \times \\ \times \frac{e^{\lambda T_{p'} + \lambda T_{k'}} - e^{\lambda T_p + \lambda T_k}}{T_{p'} + T_{k'} - T_p - T_k} e^{-2\mu}. \quad (19)$$

Функция, стоящая в (18) множителем при  $\delta(p' - p)$ , есть поправка к невозмущенному распределению по импульсам  $f_0(p)$ .

В рассматриваемых нами диаграммах из одной вершины могут выходить несколько линий взаимодействия. Этим они отличаются от диаграмм работы (5), являясь результатом дробления последних. Так, график работы (5), имеющий вид  $a$  (рис. 1), есть не что иное как сумма наших диаграмм  $a$  и  $b$ .

Московский государственный университет  
им. М. В. Ломоносова

Поступило  
9 IV 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Р. Р. Феупман, Phys. Rev., **84**, 108 (1951). <sup>2</sup> Н. Н. Боголюбов, Проблемы динамической теории в статистической физике, М.—Л., 1946. <sup>3</sup> П. И. Кузнецов, Р. Л. Стратонович, Изв. АН СССР, сер. матем., **20**, 167 (1956). <sup>4</sup> Р. Л. Стратонович, ЖЭТФ, **31**, 1012 (1956). <sup>5</sup> Т. Matsubara, Progr. Theor. Phys., **14**, 351 (1955).



Е. Д. ЩУКИН, В. Н. РОЖАНСКИЙ и Ю. В. ГОРЮНОВ

## ОБ ИЗМЕНЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ЭЛЕМЕНТАРНОМ СДВИГООБРАЗОВАНИИ

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 12 IV 1957)

При растяжении монокристаллов цинка отношение прироста электрического сопротивления к удлинению  $\frac{\delta R}{\delta l}$ , имеющее место при деформационных скачках  $\sim 0,5 \div 20 \mu$ , и ниже аналогичного отношения  $\frac{R-R_0}{l-l_0}$  для общего прироста сопротивления и общего удлинения образца; предполагалось, что это понижение связано с выходом лавин дислокаций в ряде сечений монокристалла (1). Наибольший интерес представляло, однако, проведение подобных измерений для «элементарных» сдвигов  $\sim 500 \div 2000 \text{ \AA}$ , локализованных в одной зоне скольжения. С этой целью разрешающая способность канала записи деформации была доведена до  $50 \text{ \AA}$ , а канала регистрации скачков сопротивления — до  $(3 \div 5) \cdot 10^{-9} \text{ ом}$  (2).

Опыты проводились на монокристаллах кадмия диаметром  $0,75 \text{ мм}$  и цинка диаметром  $0,5 \text{ мм}$ , длиной  $15 \div 20 \text{ мм}$ , с начальным углом между гексагональной осью и направлением растяжения  $30^\circ$ , при комнатной температуре. Растяжение велось при постоянной нагрузке до  $3 \div 5\%$  удлинения, при средних скоростях  $(0,03 \div 0,6) \cdot 10^{-4} \text{ см/сек}$ . Обычно растяжения на  $1\%$  следовали с интервалами в  $1 \div 2$  часа. Как до, так и после растяжения по всей длине образцов с точностью до  $1\%$  измерялось сечение; вычисленные на основании этих данных общие приросты сопротивления точно соответствовали результатам измерения  $R-R_0$  прецизионным потенциометром, т. е. при столь малых и медленных деформациях общие приросты сопротивления не давали измеримого превышения над обусловленными геометрически.

Нетрудно показать, что для малого деформационного скачка  $\delta l$ , локализованного в сечении, где деформация достигла величины  $\epsilon$ , геометрически обусловленный прирост сопротивления  $\delta R \approx \delta l \cdot 2r_0 \cdot (1 + \epsilon)$ , где  $r_0$  — сопротивление единицы длины недеформированного образца\*. Если весь прирост сопротивления при скачках обуславливается чисто геометрическими причинами, экспериментальные значения  $q = \frac{\delta R}{\delta l \cdot 2r_0} \cdot 100$  должны лежать в полосе от  $100\%$  до  $100\% + \epsilon_{\text{макс}}^{**}$ .

Результаты тщательных измерений около трехсот из записанных нами осциллограмм скачков от  $\delta l = 350 \text{ \AA}$  и выше, длительностью от  $1$  до  $30 \text{ м/сек}$  для монокристаллов кадмия и цинка приведены на рис. 1, где штрих-пунктирные линии ограничивают названную полосу (скачки в интервале от  $150$  до  $350 \text{ \AA}$ , хотя и вполне различимые еще на осциллограммах, как правило, уже не поддавались достаточно точному промеру).

Приведенные данные показывают, что полоса действительных значений  $q$  (сплошные кривые на рис. 1) имеет S-образную форму с перегибом в обла-

\* Для обладающего существенной анизотропией электропроводности кадмия сюда войдет еще небольшая поправка, учитывающая изменение ориентировки.

\*\* Локальные деформации в нашем случае доходили до  $\epsilon_{\text{макс}} = 30 \div 40\%$  на образцах кадмия и до  $40 \div 45\%$  — на образцах цинка.

сти  $\delta l \approx 500 \div 1000 \text{ \AA}$  и с общим понижением до 30% относительно геометрически обусловленных значений при  $\delta l > 1000 \text{ \AA}$ , что при данных ориентировках отвечает сдвигу на  $\sim 500$  межатомных расстояний в направлении скольжения, т. е.  $500 \mathbf{b}$ , где  $\mathbf{b}$  — вектор Бюргерса. Иными словами, боль-

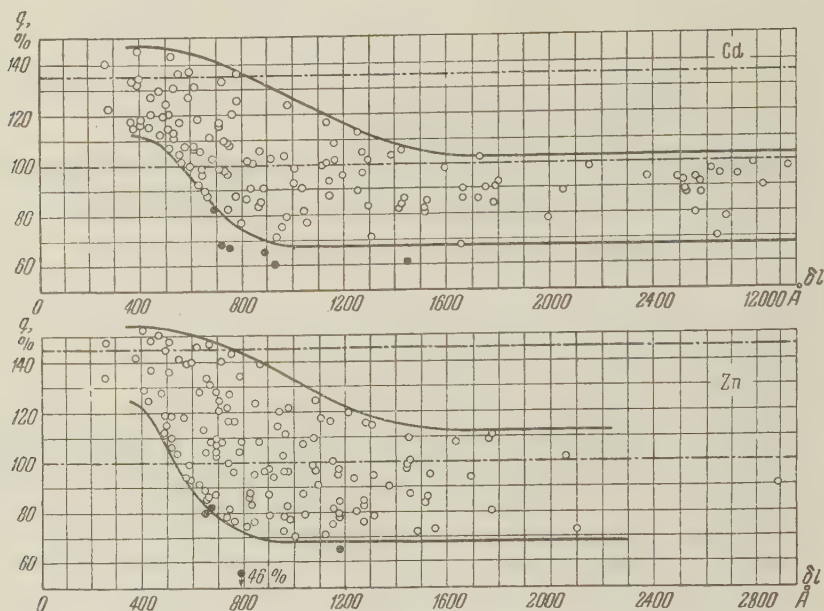


Рис. 1. Экспериментальные значения  $q$  для деформационных скачков на монокристаллах кадмия и цинка

шим скачкам, т. е. сдвигам, превышающим некоторую критическую величину, соответствует восстановление порядка, уменьшение дефектности структуры в зоне скольжения, тогда как для малых скачков  $\delta l < 500 \text{ \AA}$  этого не наблюдается (или даже имеет место обратное).

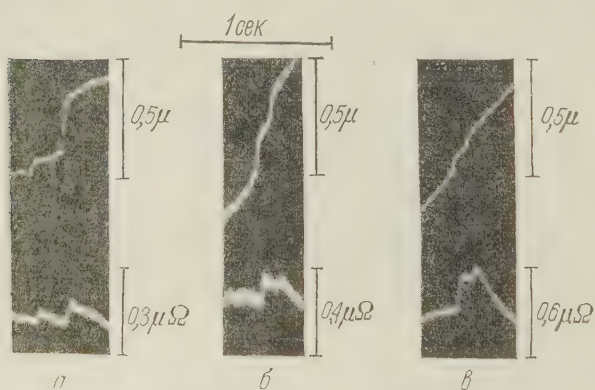


Рис. 2. Осциллограммы парных скачков со значительным понижением  $q$  для вторичного скачка: а — на монокристаллах кадмия, б — цинка, в — олова

Особый интерес представляют парные скачки, разделенные интервалом  $40 \div 80$  м сек. В этом случае  $q$  для второго скачка очень часто обнаруживает резкое понижение сравнительно со средними значениями (рис. 2, вторичные скачки). Точки, соответствующие нескольким скачкам этого типа, выделены на рис. 1.

Описанным явлениям можно дать следующее объяснение. Скачку в  $\sim 500 \mathbf{b}$  соответствует наибольшая лавина дислокаций, которая может быть накоп-

лена в районе одной плоскости скольжения, и вместе с тем — наибольший возможный для такого скопления беспорядок, определяющий значительное рассеяние электронов. В процессе скачка происходит быстрая, за несколько миллисекунд, разрядка этого скопления. В районе данной плоскости скольжения в основном восстанавливается нормальная структура, и вносившееся скоплением дополнительное сопротивление исчезает. Скачок  $\sim 500 \mathbf{b}$  следует,

по-видимому, считать максимальным элементарным скачком. Большие скачки  $> 1000 b$  можно считать разрядкой подготовленных лавин в ряде зон скольжения, непосредственно следующей за одним элементарным («иницирующим») скачком. Наблюдаемое при этом понижение скачка  $\delta R$  относительно геометрически обусловленной величины аддитивно складывается из соответствующих понижений в отдельных зонах, а потому при больших  $\delta l$  полоса значений  $q$  горизонтальна (рис. 1).

Для элементарных скачков, меньших максимального, связанное с ними изменение эффективного сечения рассеяния электронов падает не линейно, а значительно быстрее, давая перегиб  $q$ -полосы. Такие скачки соответствуют разрядке скопления, меньше максимально возможного в одной зоне, либо неполной разрядке—максимального. При этом для объяснения хода  $q$ -полосы необходима нелинейная зависимость эффективного сечения  $\sigma$  рассеяния электронов скоплением от числа дислокаций  $n$ , например типа  $\sigma = An^k$ ; в первом случае  $k \approx 2$ , во втором  $k \approx 1/2$ . Значительное понижение  $q$  для вторичных скачков в том или ином случае должно трактоваться по-разному. Первый из названных механизмов кажется нам более вероятным.

Некоторое повышение  $q$ -полосы относительно геометрически обусловленной для самых малых скачков представляется возможным связать лишь с совершенно иным процессом — внезапной активностью источников дислокаций, работающих, например, по схеме Франка—Рида, и вытекающим отсюда ростом несовершенства структуры в зоне скольжения. Однако названное повышение лежит в наших опытах почти на грани точности и требует дальнейшего экспериментального подтверждения.

Принятые в настоящее время средние плотности дислокаций и величины вносимых дислокациями сопротивлений (<sup>3</sup>, <sup>4</sup>) не позволяют количественно описать наблюдаемые явления, исходя из обычных представлений дислокационной теории. Наблюдаемые понижения  $q$  требуют наличия большой локальной плотности дислокаций, обусловливаемой, быть может, некоторым новым типом источника дислокаций, который соответствует сильно расстроенной структуре зоны скольжения до скачка и восстановлению ее во время скачка.

К частичному решению проблемы может привести развитие взглядов (<sup>5</sup>) о подготовке лавины в результате действия многих источников в одной плоскости скольжения наряду с допущением общей высокой концентрации дислокаций в этой плоскости; их аннигиляция может дать лишь небольшой сдвиг, например,  $500 b$ , но значительное понижение скачка  $\delta R$ .

Наконец, несмотря на малые длительности скачков, следует принять во внимание роль вакансий при возрастании сопротивления упроченного металла и их связь с дислокационным механизмом деформации. Не исключено, что именно в связи с положениями Мотта о «локальном отжиге» и усиленной диффузии вакансий в зоне скольжения (<sup>6</sup>) найдет объяснение резкое снижение величины  $q$  для вторичных скачков.

Подчеркивая гипотетичность высказанных соображений, мы полагаем, что дальнейшее исследование формы  $q$ -полосы позволит уточнить некоторые положения теории дислокаций в объяснении пластической деформации.

Отдел дисперсных систем  
Института физической химии Академии наук СССР

Поступило  
3 IV 1957

Кафедра коллоидной химии  
Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. Н. Рожанский, Ю. В. Горюнов, Е. Д. Шукин, Физика металлов и металловедение, **3**, 113 (1956). <sup>2</sup> Е. Д. Шукин, Н. В. Перцов, В. Н. Рожанский, Приборы и техника эксперимента, **2**, 98 (1957). <sup>3</sup> А. Н. Cottrell Dislocations and Plastic Flow in Crystals, Oxford, 1953. <sup>4</sup> T. Broom, Adv. in Phys., **3**, 27 (1954). <sup>5</sup> G. Leibfried, P. Haasen, Zs. Phys., **137**, 67 (1954). <sup>6</sup> N. F. Mott, Proc. of the Internat. Confer. on Theoret. Phys., Kyoto—Tokyo, 1954, p. 565.



А. А. ДМИТРИЕВ

ОЦЕНКА УСЛОВНОГО КОЭФФИЦИЕНТА  
ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ  
АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

(Представлено академиком В. В. Шулейкиным 10 IV 1957)

Еще в 1921 г. Дефант <sup>(1)</sup> предложил вычислять перенос тепла в атмосфере как произведение некоторого условного коэффициента теплопроводности на среднюю величину проекции градиента температуры на горизонтальную плоскость (будем называть эту проекцию просто градиентом температуры).

На земном шаре и на моделях градиент средней температуры атмосферы (или моделирующей ее среды) не имеет резких разрывов, так же как и средний поток тепла, например, с юга на север. Механизм переноса тепла может меняться от одной области к другой. Так, в средних широтах преобладает макротурбулентность, связанная с циклогенезом, а в низких широтах сильнее выражены пассатные и муссонные переносы. Как можно заключить из опытов на моделях, характер процесса, видимо, определяется «тепловым напором», т. е. самой величиной потока тепла и свойствами среды (<sup>(2)</sup>, стр. 432).

Пользуясь понятием условного коэффициента теплопроводности, Онгстрем <sup>(3)</sup> получил близкое к наблюдаемому распределение средних зональных температур на земном шаре.

Моделируя атмосферную циркуляцию во вращающемся плоском сосуде с круглым подогревателем в центре, Скейб <sup>(4)</sup> пришел к выводу, что распределение температур с удалением от центра близко к даваемому теорией теплопроводности около бесконечного прямолинейного источника тепла. При этом коэффициент температуропроводности следует брать значительно больший, чем молекулярный. В его опытах этот коэффициент оказался равным  $a_r^2 = 4,1 \cdot 10^{-2}$  см<sup>2</sup>/сек, вместо  $a_m^2 = 1,33 \cdot 10^{-3}$  см<sup>2</sup>/сек.

В. В. Шулейкин для случая атмосферы предположил, что кажущийся коэффициент температуропроводности над круглым островом прямо пропорционален квадрату радиуса острова (<sup>(5)</sup>, стр. 390). Коэффициент пропорциональности имеет размерность обратно пропорциональную времени, однако физический смысл его не раскрывается.

При моделировании оценка кажущегося коэффициента теплопроводности необходима для подстановки его в соответствующие критерии подобия. Ставя задачу лишь получения порядка искомой величины, мы воспользуемся для рассуждений следующей грубой схемой.

Предположим сначала, что над моделью круглого нагретого острова радиуса  $R$  происходит импульсивная замена  $n$  раз в секунду теплой жидкости на холодную из окружающей области. Пусть толщина слоя жидкости  $H$ , плотность  $\rho$ , теплоемкость  $c$ . Нагревание каждой порции происходит на величину  $\Delta \bar{T}$ , равную разности средних температур «атмосферы» над «островом» и над морем. Тогда за единицу времени с «острова» будет удаляться

оличество тепла, равное

$$Q_1 = n\pi R^2 \rho c H \Delta \bar{T}. \quad (1)$$

С другой стороны, предполагая, что перенос тепла над береговой чертойписывается уравнением теплопроводности с фиктивным коэффициентом температуропроводности  $a_{\Phi}^2$ , можно общий поток тепла записать в виде

$$2\pi R a_{\Phi}^2 \rho c H \left. \frac{dT}{dr} \right|_{r=R} = Q_2. \quad (2)$$

Приравнявая друг другу выражения (1) и (2), находим искомый фиктивный коэффициент температуропроводности в виде

$$a_{\Phi}^2 = \frac{nR\Delta\bar{T}}{2 \left. \frac{dT}{dr} \right|_R}. \quad (3)$$

Порядок величины градиента температуры над береговой чертой определяется степенью нагревания  $\Delta\bar{T}$  и размерами острова  $R$ . Вводя коэффициент пропорциональности  $\chi$ , можно написать

$$\left. \frac{dT}{dr} \right|_R = \chi \frac{\Delta\bar{T}}{R}. \quad (4)$$

Числовая величина  $\chi$  определяется законом распределения температуры над островом.

Вместо частоты смен  $n$  можно ввести период между сменами

$$\tau = \frac{1}{n}. \quad (5)$$

Тогда вместо (3) получаем

$$a_{\Phi}^2 = \frac{R^2}{2\tau\chi}. \quad (6)$$

Если отказаться от первоначальной гипотезы периодических смен масс воздуха над островом, а предположить, что равномерная замкнутая циркуляция со средней радиальной скоростью  $u_r$  обеспечивает за время  $R/u_r = \tau$  полную смену воздуха над островом, где он нагревается на ту же величину  $\Delta\bar{T}$ , то выражение для коэффициента кажущейся температуропроводности будет иметь вид

$$a_{\Phi}^2 = \frac{R u_r}{2\chi}. \quad (7)$$

В этом случае каждая частичка воздуха или моделирующей его жидкости постепенно перед сменой прогреется до максимальной температуры, и коэффициент  $\chi$ , по-видимому, будет близок к единице.

Применим формулу (1) к результатам, полученным Скейбом (4). Положим  $n = 1$ , максимальную скорость  $u_r = 5 \cdot 10^{-2}$  см/сек. Средняя скорость при почти синусоидальном законе ее изменения, представленном, например, на рис. 20 работы (4), будет порядка  $\bar{u}_r = 3 \cdot 10^{-2}$  см/сек. Радиус нагретой области модели был  $R = 3$  см. Следовательно, по формуле (7) получаем  $a_{\Phi}^2 = \frac{3 \cdot 3 \cdot 10^{-2}}{2} = 4,5 \cdot 10^{-2}$  см<sup>2</sup>/сек вместо величины  $a_h^2 = 4,1 \cdot 10^{-2}$  см/сек, полученной Скейбом. Совпадение можно считать удовлетворительным.

Применим теперь полученную формулу к земным условиям. Для Австралии можно принять  $R = 10^8$  см. Скорость ветра, нормального к береговой черте, порядка 5 м/сек. Тогда

$$a_{\text{Ав}}^2 \approx \frac{10^8 \cdot 5 \cdot 10^2}{2} = 2,5 \cdot 10^{10} \text{ см}^2/\text{сек}.$$

Если для материка Евразии принять  $R = 4,1 \cdot 10^8$  см, как это делает В. В. Шулейкин, то получим при тех же средних скоростях ветра

$$a_{\text{Евр}}^2 \approx \frac{4,1 \cdot 5 \cdot 10^{10}}{2} \approx 10^{11} \text{ см}^2/\text{сек.}$$

Приведенные оценки согласуются с величинами коэффициента кинематической вязкости атмосферы, получаемого в динамической метеорологии при учете макротурбулентности типа циклонических образований (<sup>1</sup>, <sup>3</sup>, <sup>5</sup>, <sup>6</sup>).

Морской гидрофизический институт  
Академия наук СССР

Поступило  
6 IV 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> A. Defant, Geograf. Ann., Н. 3, 209 (1921). <sup>2</sup> А. А. Дмитриев, Изв. АН СССР, сер. геоф., № 5, 390 (1953). <sup>3</sup> A. Ångström, Gerlands Beitr. Geophys., 15 (1926). <sup>4</sup> G. Skeib, Abh. d. meteorolog. u. hydrolog. Dienstes der DDR, 3, № 20 (1953). <sup>5</sup> В. В. Шулейкин, ДАН, 83, № 3 (1952). <sup>6</sup> H. Lettau, Gerlands Beitr. Geophys., 39, 426 (1933).



А. П. ЛИСИЦЫН, И. Е. МИХАЛЬЦЕВ, Н. Н. СЫСОЕВ и Г. Б. УДИНЦЕВ

**НОВЫЕ ДАННЫЕ О МОЩНОСТИ  
И УСЛОВИЯХ ЗАЛЕГАНИЯ РЫХЛЫХ ОТЛОЖЕНИЙ  
СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА**

*(Представлено академиком Д. И. Щербаковым 20 III 1957)*

Институтом океанологии АН СССР ведется работа по изучению мощностей рыхлых отложений на дне морей и океанов сейсмо-акустическими методами<sup>(1)</sup>. В частности, в 1954 г. в 19-м рейсе экспедиции Института океанологии на судне «Витязь» проводились исследования мощностей рыхлых отложений северо-западной части Тихого океана к юго-востоку от Курило-Камчатской дуги и к востоку от о. Хонсю. В 1955 г. в 22-м рейсе экспедиции на «Витязе» были выполнены исследования мощностей рыхлых отложений в пределах Филиппинской котловины Тихого океана (рис. 1).

Источником упругих колебаний при этих исследованиях служили взрывы зарядов взрывчатого вещества весом от 400 г до 120 кг. Взрыв зарядов производился, в зависимости от метода работы, либо у поверхности воды, либо на глубине около 1 м, либо на глубине до 50—70 м. Исследования проводились с регистрацией отраженных волн непосредственно в пункте взрыва с регистрацией волн на различном удалении от перемещающегося пункта взрыва. В первом случае взрыв и прием волн производились с одного и того же корабля, находившегося в дрейфе, во втором случае взрывы производил корабль, идущий по разрезу, а прием — корабль находившийся в дрейфе на одной из конечных точек разреза. Первым методом выполнены наблюдения примерно в 50 точках, из числа которых в 23 точках получены хорошо дешифрируемые по частотному признаку записи отражений от границ раздела внутри рыхлой осадочной толщи. Точки дешифрируемых записей отражений от границ раздела показаны на рис. 1. Вторым методом выполнены наблюдения на 8 разрезах к юго-востоку от Камчатки. Положение разрезов показано на рис. 1.

Прием отраженных и преломленных волн производился с помощью двух кристаллических приемников, снабженных предварительными усилителями с широкой полосой пропускания. Приемники опускались на глубину от 30 до 150 м в зависимости от условий приема и метода исследований. Специальная система независимой подвески приемников служила предметом ряда экспериментов и позволила существенно снизить фон помех, связанных качкой корабля при волнении. Принятые сигналы усиливались двумя идентичными трехканальными усилительными трактами и регистрировались магнитоэлектрическим осциллографом. Частотные характеристики каналов усилительных трактов менялись с помощью полосовых фильтров в зависимости от задач исследований и местных условий. Наиболее употребительными полосами пропускания были в период исследований 1954—1955 гг. следующие: низкочастотная полоса — от 37 до 75 гц, среднечастотная — от 5 до 150 гц, высокочастотная — от 1000 до 5000 гц.

В настоящей статье рассматриваются результаты, полученные при регистрации отраженных волн непосредственно в пункте взрыва. Результаты обработки записей отраженных волн свидетельствуют о существовании нескольких границ раздела в рыхлой осадочной толще, располагающихся

на различных глубинах ниже поверхности дна океана. Анализ осциллограмм позволяет выделить волны, происхождение которых можно объяснить лишь отражением от границ раздела в толще рыхлых отложений. Эти волны характеризуются частотами порядка 70 гц. Высокочастотная составляющая характерная для первых и последующих отражений от поверхности дна в этих волнах отсутствует.

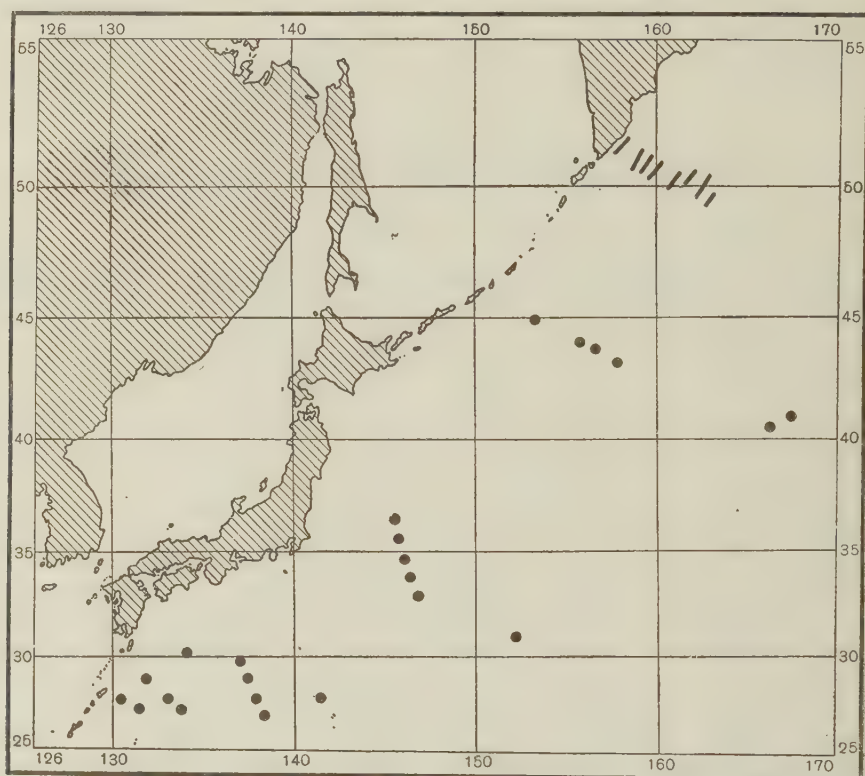


Рис. 1. Пункты и разрезы сейсмо-акустических исследований, выполненных в 19-м и 22-м рейсах экспедиции на «Витязе» (1954—1955 гг.)

В районе к юго-востоку от средней части Курильской островной гряды во всех точках наблюдений отмечается существование 2—3 отражающих поверхностей, лежащих ниже поверхности дна. Глубина залегания этих поверхностей меняется от места к месту, но корреляция волн по форме и амплитуде регистрируемых колебаний позволяет проследивать идентичные границы раздела на значительных расстояниях и судить об изменении мощности слоев рыхлой осадочной толщи. Наиболее замечательным являлось обнаружение при этом границы раздела, дающей отражения с амплитудой, примерно вдвое превышающей амплитуду отражений от поверхности дна. Если учесть, что скорость распространения звука в верхней части осадочной толщи в районе исследований определена равной примерно 1,7 км/с<sup>(2)</sup>, то выявленная граница раздела должна соответствовать увеличению скорости звука примерно до 2,0 км/сек. Таким образом, здесь мы имеем дело не с поверхностью коренных пород ложа океана, а с границей раздела в осадочной толще. Это подтверждается обнаружением границ раздела, лежащих ниже.

Граница раздела, дающая столь интенсивные отражения была прослежена на очень большом расстоянии от района подводного Гавайского хребта до возвышенности Зенкевича, лежащей на краю ложа океана близ Курило-Камчатского глубоководного желоба, т. е. на расстоянии около 1200 км.

примерная глубина залегания этой границы раздела, рассчитанная по скорости звука 1,7 км/сек, меняется следующим образом. В восточной и западной частях разреза она лежит сравнительно неглубоко под поверхностью дна — примерно на 170—270 м, тогда как в средней части разреза она погружается до глубины около 500 м ниже поверхности дна. Подобный же характер изменения глубины залегания (в м) обнаруживают и другие выявленные границы раздела:

	Ст. № 3154	Ст. № 3155	Ст. № 3162	Ст. № 3163	Ст. № 3164	Ст. № 3167
Горизонт А	—	—	155	221	155	—
Горизонт Б	173	214	373	510	407	272
Горизонт В	—	394	615	905	735	664
Горизонт Г	468	527	—	—	—	212

Можно видеть, что границы раздела в пределах осадочной толщи отмечают прогиб, заполняемый рыхлыми осадками. Максимальная замеренная мощность осадков в центральной части прогиба достигает 900 м, но весьма вероятно, что полная мощность рыхлых осадков там несколько больше, ибо по краям прогиба отмечена поверхность раздела, лежащая ниже. Следует заметить, что в рельефе поверхности дна прогиб почти не выражен, ему соответствуют лишь очень малые колебания глубин океана. В то же время амплитуда прогиба основного отражающего горизонта (горизонт Б) достигает в средней части разреза 300 м.

Иную картину залегания слоев осадочной толщи можно наблюдать по разрезу к востоку от о. Хонсю. Здесь также удастся выделить несколько отражающих поверхностей, с которыми связаны волны с частотами порядка 10 гц. Число этих отражающих поверхностей несколько меньше, чем на описанном выше разрезе. Однако и здесь прослеживается граница раздела, дающая отражения с очень высокой амплитудой, примерно вдвое превышающей амплитуду отражений от поверхности дна. Глубина этой границы (в м) по примерным подсчетам оказывается больше в южной и северной частях разреза, чем в средней его части:

	Ст. № 3207	Ст. № 3209	Ст. № 3210	Ст. № 3211	Ст. № 3212	Ст. № 3213
Горизонт А	206	—	—	—	172	230
Горизонт Б	300	228	143	148	390	—
Горизонт В	—	417	—	—	520	—

Как видно, положение горизонта Б обрисовывает поднятие в средней части разреза. Заметим, что в рельефе дна этому поднятию примерно соответствует вал, лежащий на краю ложа океана близ Японского глубоководного желоба.

Результаты исследований, проведенных в Филиппинской котловине Тихого океана, по своему характеру существенно отличаются от описанных выше, полученных в северо-западной котловине. Здесь обнаружено чередование участков дна с наличием нескольких отражающих поверхностей в пределах осадочной толщи и участков, лишенных таковых. Можно интерпретировать это как следствие резких различий в мощности слоев осадочной толщи на дне Филиппинской котловины. Необходимо отметить, что в рельефе поверхности дна этой котловины отмечается чередование приподнятых блоков и впадин между ними. По-видимому, впадины заполнены относительно мощными осадочными толщами, обладающими внутренними границами раздела, тогда как поднятые блоки несут на себе относительно тонкий покров осадков, лишенный внутренних границ раздела.

Результаты, полученные Институтом океанологии в итоге первых исследований мощности рыхлых отложений, носивших характер экспериментальных работ, не велики по объему. Интерпретация части материалов еще не закончена. Однако полученные данные заслуживают внимания в том отношении, что они проливают свет на некоторые особенности осадконакопле-



ния в северо-западной части Тихого океана. Можно утверждать, что осадконакопление на дне северо-западной котловины океана происходит неравномерно, приурочено преимущественно к средней части котловины и ведет к заполнению обширного прогиба поверхности ложа океана. В Филиппинской котловине осадки накапливаются также неравномерно и заполняют понижения рельефа ложа океана. Эти данные хорошо согласуются с полученными с помощью эхолотов данными о слоистости самой верхней части осадочной толщи, свидетельствующими также о неравномерности толщины осадочных слоев в условиях сложного рельефа океанического ложа. Все эти данные заставляют предполагать развитие процессов интенсивного переноса осадочного материала близ поверхности дна и заполнения этим материалом понижений первичного тектонического рельефа ложа океана. Новые данные меняют некоторые прежние представления о характере осадконакопления на дне океана и заставляют по-новому ставить вопросы связи осадконакопления с тектоникой.

Институт океанологии  
Академии наук СССР

Поступило  
7 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Н. Н. Сысоев, И. Е. Михальцев, Г. Б. Удинцев, А. П. Лисицын. Бюлл. Сов. по сейсмол. АН СССР, № 2, сборн. статей по цунами (1956). <sup>2</sup> T. Gaskell, J. S w a l l o w, Nature, 170, № 4, 337 (1952).

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Ю. А. БАГАРЯЦКИЙ и Ю. Д. ТЯПКИН

**ВЗАИМООТНОШЕНИИ ПРОЦЕССОВ ДИФфуЗИИ И ПЕРЕСТРОЙКИ  
РЕШЕТКИ ПРИ РАСПАДЕ ПЕРЕСЫЩЕННЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ  
В СПЛАВАХ**

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 4 III 1957)

Фазовые превращения в сплавах в твердом состоянии сопровождаются как изменением химического состава взаимодействующих металлических фаз, так и изменением их кристаллической структуры. Вопрос о том, какой из этих процессов является ведущим в превращении, особенно в период зарождения центров новой фазы внутри исходной, имеет большое значение. Однако в этом отношении нет пока единого мнения, ввиду отсутствия достаточно надежных экспериментальных данных. Для частного случая распада пересыщенных твердых растворов высказывались две противоположные точки зрения: сначала перестройка решетки, и лишь потом диффузионное изменение состава (<sup>2</sup>, <sup>4</sup>), и наоборот (<sup>1</sup>, <sup>3</sup>).

Полученные нами и излагаемые в данном сообщении результаты изучения распада пересыщенных твердых растворов титана в никеле и никроме, как нам кажется, позволяют однозначно решить вопрос в пользу второго представления (хотя первое представление, по-видимому, справедливо для любого класса превращений — мартенситных превращений (<sup>5</sup>)).

Изучались сплавы никель—титан: Т-2 с 11,8% Ti (14,1 ат.%) и Т-3 примерно с 13% Ti\* (около 15 ат.%), а также тройной сплав никель—хром—титан (ХТ) с 15,2% Cr и 7,1% Ti (16,6 и 8,4 ат.%, соответственно). Как следует из диаграммы состояний (<sup>6</sup>), равновесной фазой выделения в этих сплавах (при температуре старения 700—900° и ниже) является так называемая фаза (Ni<sub>3</sub>Ti) с четырехслойной плотноупакованной гексагональной структурой. При температуре нагрева под закалку (1250°) вторая фаза растворяется в твердом растворе на основе никеля (γ-фаза); рентгенографические исследования монокристаллов закаленных сплавов подтверждают их однофазность\*\*.

После длительных выдержек (старения) при температурах 700—900° сплавы становятся двухфазными (γ + η), причем выделения η-фазы преимущественно ориентированы внутри кристаллов исходного твердого раствора (т.е., например, микрофотографии в (<sup>6</sup>, <sup>8</sup>)). Взаимная ориентировка решеток γ и η-фаз характерна для превращений кубической гранецентрированной решетки в плотноупакованную гексагональную, как это определено нами рентгенографически:

$$\begin{aligned} (0001)\eta \parallel (111)\gamma \text{ или } c_\eta \parallel [111]_\gamma, \\ (11\bar{2}0)\eta \parallel (110)\gamma \text{ или } a_\eta \parallel [1\bar{1}0]_\gamma. \end{aligned} \quad (1)$$

\* Многократные химические анализы дали не вполне согласующиеся результаты.

\*\* Согласно наиболее точной диаграмме состояния Ni—Ti предельная растворимость титана в никеле достигается при 1304° и составляет 13,8 ат. % (<sup>7</sup>); соответственно этому в микрошлифах сплавов Т-2 и Т-3 наблюдаются очень небольшие количества остаточной фазы, не обнаруживаемые рентгенографически и не мешающие исследованию, поскольку они не имеют правильной ориентировки относительно кристаллов твердого раствора.

Процессы, происходящие в сплавах при старении<sup>7</sup> (распаде пересыщенных после закалки твердых растворов) и приводящие в итоге к образованию в первоначально однофазном сплаве выделений второй фазы, изучались нами рентгенографическим путем с помощью методики, уже примененной нами при изучении старения сплавов никель — алюминий<sup>(9)</sup>, т. е. путем анализа рентгенограмм колебаний монокристаллов сплавов\*.

На рентгенограммах закаленных сплавов отражений от  $\eta$ -фазы нет, и на них достаточно ясно видны (рис. 1а) сверхструктурные отражения, которые не должны были бы наблюдаться для равновесных твердых растворов, но которые наблюдались нами и для закаленных сплавов Ni—Al<sup>(8, 9)</sup>. Появление сверхструктурных отражений, которым соответствует увеличенный на 8—10 ХЕ против среднего по сплаву ( $a_{\gamma_0} = 3,570$  кХ для сплава Т-2) период решетки, говорит о том, что после закалки пересыщенный твердый раствор неоднороден, и что в нем существуют очень малые области (размером 200—400 Å, как это следует из размытия сверхструктурных отражений) обогащенные титаном и имеющие упорядоченное расположение атомов по типу  $\text{Cu}_3\text{Au}$  (как и для сплавов Ni—Al). Таким образом, можно сказать, что состав обогащенных титаном областей уже близок к  $\text{Ni}_3\text{Ti}$ .

Около основных (не сверхструктурных) отражений, при съемке на мягком излучении ( $K_{\alpha}$  Cu—Fe), на рентгенограммах колебаний двойных сплавов Ni—Ti заметны довольно четкие отражения—сателлиты (рис. 1б), подобно тому что имеет место на ранней стадии старения сплавов Ni—Al<sup>(9)</sup>.

Для тройного сплава Ni—Cr—Ti четких сателлитов, указывающих на периодическое распределение<sup>(10)</sup> в твердом растворе обогащенных титаном областей, не наблюдается, но видны сильно размытые пятна-сателлиты в виде удлинённых штрихов (рис. 1в); они похожи на то, что наблюдалось Маненцом при старении сплавов нимоник<sup>(11, 12)</sup> и сплава Ni—Si (7% Si)<sup>(13)</sup>.

Однако и те и другие сателлиты (четкие и в виде штрихов) характеризуют собой, несомненно, наличие в сплавах на ранней стадии старения (а иногда и сразу после закалки) существенной неоднородности в величине периода решетки в различных субмикрообъемах, но без нарушения правильной кристаллической структуры исходного монокристалла в целом (в среднем). Это хорошо подтверждается рентгеносъемкой на жестком излучении ( $K_{\alpha}\text{Mo}$ ), когда можно считать, что каждая из таких субмикрообластей рассеивает рентгеновские лучи независимо<sup>(9)</sup>.

Действительно, на рентгенограммах колебаний, на которых зафиксированы отражения с высокими миллеровскими индексами ( $2h^2 = 80 \div 100$ ), для сплава Т-2 можно заметить разделение каждой компоненты дублета ( $K_{\alpha 1}$  и  $K_{\alpha 2}$  Mo) на два отражения совершенно подобно тому, что отмечалось нами для сплава Ni—Al (см. рис. 2 а в работе<sup>(9)</sup>). При этом для обогащенного титаном твердого раствора ( $\gamma_1$ ) отражения более четкие, а для обедненного ( $\gamma_2$ ) — размытые. Для сплава ХТ после закалки каждая из компонент дублета разделяется на три отражения ( $\gamma_1$ ,  $\gamma_0$  — рис. 2а), т. е. в тройном сплаве сохраняются также и области со средним содержанием титана. После непродолжительного старения при 600—800° эти последние области рассасываются, т. е. идет как бы расслоение твердого раствора по схеме двухфазного распада  $\gamma_0 \rightarrow \gamma_1 + \gamma_2$  (см. табл. 1).

Отражения, соответствующие кристаллической структуре гексагональной  $\eta$ -фазы, ориентированной в кристалле согласно условию (1), появляются на рентгенограммах исследуемых сплавов только на относительно поздней стадии старения; в частности, после отпуска в течение 2 часов при 800° (сплав Т-3) или 850° — сплав ХТ (рис. 3а), когда свойства сплавов (твердость) достигают экстремального значения. Наряду с отражениями гексагональной фазы, теперь уже и при съемке на мягком излучении

\* Как правило, снимались рентгенограммы колебаний «на отражение», т. е. под большими углами  $\theta$  (близкими к 90°), на плоскую пленку при расстоянии от образца до пленки  $\approx 40$  мм. На репродукциях (рис. 1—3) снимки увеличены вдвое; ось колебаний образцов горизонтальна.



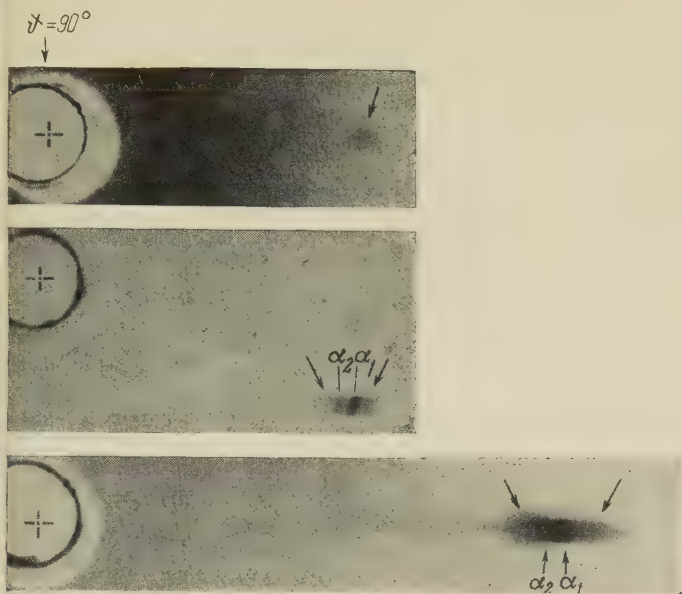


Рис. 1. Вид различных отражений на рентгенограммах колебаний закаленных монокристаллов. *а* — сверхструктурное отражение 023, сплав Т-3,  $K_{\alpha}$  Fe-излучение; *б* — отражение 024 с сателлитами, сплав Т-3  $K_{\alpha}$  Cu-излучение; *в* — отражение 133 с размытыми сателлитами, сплав ХТ  $K_{\alpha}$  Cu-излучение

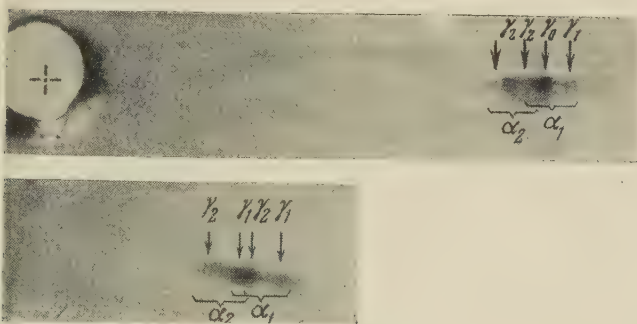


Рис. 2. Разделение отражений высоких порядков при съемке сплава ХТ на  $K_{\alpha}$  Mo-излучении. *а* — отражение 139 после закалки; *б* — отражение 466, отпуск  $800^{\circ}$  2 часа.  $\gamma_1$  — обогащенный титаном твердый раствор,  $\gamma_2$  — обедненный,  $\gamma_0$  — со средней (исходной) концентрацией. На снимке *б*  $\gamma_0$  уже не обнаруживается

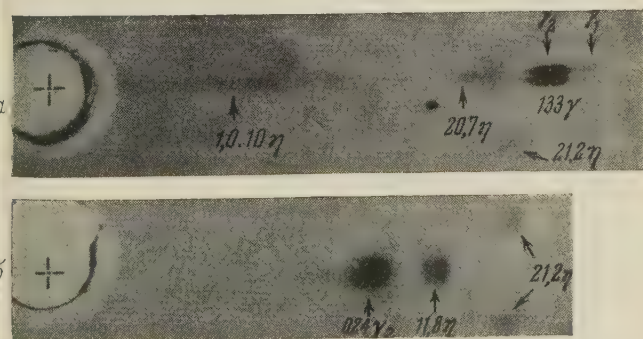


Рис. 3. Рентгенограммы колебаний после образования в кристалле областей с гексагональной решеткой. *а* — сплав ХТ, отпуск  $850^{\circ}$  2 часа, видны два периода решетки твердого раствора ( $\gamma_1 + \gamma_2$ ); *б* — сплав Т-3, отпуск  $800^{\circ}$ — $1000^{\circ}$ , полный распад:  $\gamma_0 \rightarrow \gamma_2 + \eta$ .  $\eta$  закономерно ориентирована относительно  $\gamma$



можно видеть на рентгенограммах по два отражения от твердого раствора (рис. 3а). По полученным рентгенограммам колебаний могут быть вычислены и периоды решетки в областях с гексагональной структурой.

Таблица 1

Изменение периодов решетки  $\gamma$ -твердого раствора в сплаве Ni—Cr—Ti при старении (значения в кХ)

Состояние сплава	Период решетки $a$ в областях			Примечание
	обогащенных титаном ( $\gamma_1$ )	со средним составом ( $\gamma_0$ )	обедненных титаном ( $\gamma_2$ )	
Закалка с 1250°		3,569 ( $\pm 1$ ХЕ) 3,572 ( $\pm 5$ ХЕ)		По Си-изл.(рис. 1а) По Мо-изл. (рис. 2а)
Отпуск 800° 2 часа	3,586 ( $\pm 5$ ХЕ)		3,564 ( $\pm 5$ ХЕ)	По Мо-изл. (рис. 2б)
Отпуск 850° 2 часа	3,587 ( $\pm 3$ ХЕ) 3,591 ( $\pm 5$ ХЕ) ( $v_{ат} = 11,58$ ) *		3,564 ( $\pm 5$ ХЕ) 3,564 ( $\pm 5$ ХЕ) ( $v_{ат} = 11,32$ )	По Си-изл. (рис. 3а)
Медленное охлаждение с печью с 1200°	(гексагонал. фаза с $v_{ат} = 11,52$ )		3,560 ( $\pm 2$ ХЕ)	По Си-изл.

\*  $v_{ат}$  — объем, приходящийся на 1 атом в данной области в (кХ) <sup>3</sup>.

Из табл. 1 следует, что объемы, приходящиеся на 1 атом в гексагональной фазе, и атомные объемы в областях, обогащенных титаном, очень близки. Этот факт, вместе с тем, что состав областей, обогащенных титаном, бли-

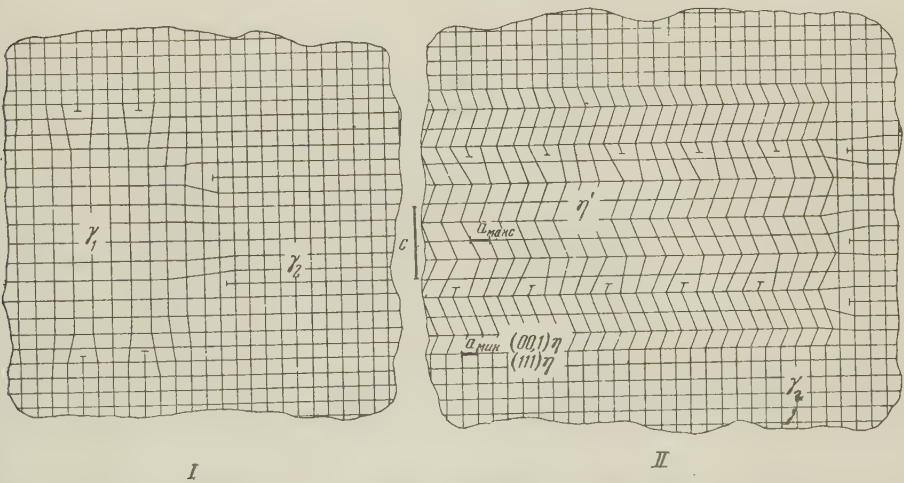
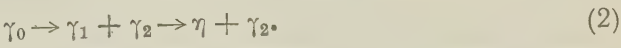


Рис. 4. Схема двух стадий распада твердого раствора титана в никеле: I — образование областей, обогащенных титаном ( $\gamma_1$ ), II — после перестройки в них кубической решетки в гексагональную, сопряженную с кубической ( $\eta'$ )

зок к  $Ni_3Ti$ , указывает, что области со структурой  $\eta$ -фазы образовались из обогащенного твердого раствора, т. е. что полная схема распада будет:



Проведенные исследования позволяют утверждать, что процесс превращения (при старении) однофазного сплава Ni—Ti (или Ni—Cr—Ti) в двухфазную систему проходит в две стадии (рис. 4). Сначала, еще в процессе



закалки, происходит диффузионное перемещение атомов титана в решетке исходного монокристалла сплава так, что образуются субмикроскопические области, обогащенные (судя по периоду сверхструктуры, до состава, близкого к  $\text{Ni}_3\text{Ti}$ ) и обедненные титаном, и лишь затем, на второй стадии старения, в сплаве появляются малые области с другой кристаллической структурой ( $\eta\text{-Ni}_3\text{Ti}$ ), сопряженные с маточным твердым раствором\*. При увеличении продолжительности старения области-зародыши  $\eta$ -фазы увеличиваются в размерах, приобретают пластинчатую форму и периоды решетки близкие к периодам равновесной  $\eta$ -фазы.

Есть основания думать, что найденная при старении сплавов  $\text{Ni-Ti}$  и  $\text{Ni-Cr-Ti}$  последовательность процессов диффузии и перестройки решетки характерна также и для случая эвтектоидного распада пересыщенного твердого раствора, — в частности в сплавах на основе титана (<sup>14</sup>), а также при эвтектоидном превращении в стали в средней области температур (<sup>15</sup>), о котором идет речь в статьях (<sup>1</sup>, <sup>4</sup>).

С термодинамической точки зрения процесс расслоения (в субмикроскопических объемах) пересыщенного твердого раствора, по-видимому, выгоден, как это показывают расчеты для  $\text{Al-Cu}$  (<sup>16</sup>) и других сплавов (<sup>17</sup>, <sup>18</sup>). Лишь после такого «расслоения» в подготовленных (по составу) областях оказывается термодинамически выгодным измениться порядку в расположении атомов на тот, который характерен для фаз, более устойчивых при низких температурах. Отличие эвтектоидного распада от старения с этой точки зрения только в том, что в первом случае оба твердых раствора неустойчивы при низких температурах, в то время как во втором, — только более богатый легирующим элементом (в нашем случае титаном) твердый раствор превращается путем ориентированной перестройки в фазу выделения.

Институт металловедения и физики металлов  
Центрального научно-исследовательского  
института черной металлургии

Поступило  
2 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Г. В. Курдюмов, Изв. АН СССР, сер. хим., № 2, 271 (1936). <sup>2</sup> Я. С. Уманский и др., Физическое металловедение, 1955, стр. 627; Я. С. Уманский, Сборн. Структура стали, 1949, стр. 160. <sup>3</sup> Ю. А. Багаряцкий, ЖТФ, 21, 1497 (1951). <sup>4</sup> М. Е. Блантер, Металловедение и обработка металлов, № 4, 1 (1955). <sup>5</sup> Г. В. Курдюмов, Сборн. Проблемы металловедения и физики металлов, в. 1, 132 (1949). <sup>6</sup> A. Taylor, R. W. Floyd, J. Inst. Metals, 80, 577 (1952). <sup>7</sup> D. M. Pool, W. Hume-Rothery, J. Inst. Metals, 83, 473 (1955). <sup>8</sup> Ю. А. Багаряцкий, Ю. Д. Тяпкин, Кристаллография, 2, № 3 (1957). <sup>9</sup> Ю. А. Багаряцкий, Ю. Д. Тяпкин, ДАН, 108, 451 (1956); см. также сборник Проблемы металловедения и физики металлов, в. 5 (1957). <sup>10</sup> V. Daniel, H. Lipson, Proc. Roy. Soc., A, 181, 368 (1943). <sup>11</sup> J. Manenc, C. R., 238, 1817 (1954). <sup>12</sup> J. Manenc, C. R., 240, 2413 (1955). <sup>13</sup> J. Manenc, C. R., 243, 119 (1956). <sup>14</sup> Ю. А. Багаряцкий, Т. В. Тагунова, Г. И. Носова, Сборн. Проблемы металловедения и физики металлов, в. 5 (1957). <sup>15</sup> Л. И. Коган, Р. И. Энтин, Изв. АН СССР, ОТН, № 1, 67 (1955). <sup>16</sup> J. L. Meijering, Rev. Metallurg., 49, 906 (1952). <sup>17</sup> H. K. Hardy, Progress in Metal Physics, London, 5, 142 (1954). <sup>18</sup> Б. Я. Любов, Б. И. Максимов, ЖТФ, 23, 1202 (1953).

\* Сопряженность следует из сопоставления периодов решетки для областей с гексагональной и кубической решетками.

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

В. Н. ВАРФОЛОМЕЕВА и Н. Д. ЖЕВАНДРОВ

**ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ДИАГРАММЫ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ  
МОНОКРИСТАЛЛОВ СТИЛЬБЕНА**

(Представлено академиком А. В. Шубниковым 5 IV 1957)

Поляризационные диаграммы люминесценции кристаллов, показывающие зависимость степени поляризации от направления наблюдения, позволяют решать важную задачу — определять ориентацию молекул в кристаллической решетке.

В предыдущей работе одного из авторов <sup>(1)</sup> были исследованы поляризационные диаграммы монокристаллических пластинок антрацена и показано, что если учесть поправки на двойное преломление, то экспериментальные диаграммы качественно согласуются с диаграммами, рассчитанными на основе рентгеноструктурных данных. Внесение поправок существенно осложняет дело, так как, во-первых, связано с довольно громоздкими расчетами и, во-вторых, требует знания оптической анизотропии кристалла (индикатрисы), что является довольно кропотливой экспериментальной задачей.

Однако по направлениям, близким к нормали к поверхности кристалла ( $\pm 20^\circ$ ), поправки весьма невелики, они становятся значительными только при больших углах между нормалью и направлением наблюдения. Это приводит к мысли так изменить условия эксперимента, чтобы по всем направлениям свет люминесценции падал на поверхность кристалла нормально. Такие условия можно получить, если применять кристаллы сферической формы и возбуждать люминесценцию в их центре.

В настоящей работе такие исследования проведены на сферических кристаллах стильбена. Чтобы возбуждать свечение в центре, сферы разрезались по диаметрально плоскостям определенной ориентации. Поляризационные диаграммы измерялись на поляризационно-гониометрической установке, описанной в <sup>(1)</sup>, при возбуждении излучением ртутной лампы с длиной волны 365 мμ.

Предварительно для каждой полусферы измерялась зависимость поляризации от угла поворота кристалла вокруг горизонтальной оси, совпадающей с осью установки (азимутальная зависимость) и определялись положения кристалла с такой ориентацией, при которой поляризация имеет максимальное положительное или максимальное отрицательное значения. В этих положениях и измерялись поляризационные диаграммы, соответственно «положительные» и «отрицательные».

Образцы готовились из монокристаллов стильбена, выращенных в запаянной пробирке методом Обреимова—Шубникова. Большой монокристалл распиливался на более мелкие части нужной величины, которым затем придавалась сферическая форма с помощью вращающейся трубки и наждака; полученная сфера полировалась мягким сукном, смоченным в керосине, вращением в этой же трубке. После такой обработки получались совершенно прозрачные шарики с ровной полированной поверхностью. Диаметр шариков от 10 до 25 мм.

Стильбен является двуосным кристаллом. Сферическая форма образца дает возможность по коноскопической картине увидеть и нанести на поверх-

ность шарика выходы оптических осей по методу, предложенному А. В. Шубниковым <sup>(2)</sup>.

Угол между оптическими осями стильбена большой, поэтому сразу увидеть выходы обеих осей не удастся. Это можно сделать, вращая шарик и отмечая выход сначала одной, затем другой оси. По выходам осей производилась ориентировка образцов. Сфера сошлифовывалась до полусферы. Срез полировался сукном, смоченным в керосине.

Были изготовлены полусферы, срезанные по следующим плоскостям. I — по плоскости оптических осей; II — перпендикулярно биссектрисе острого угла между оптическими осями; III — перпендикулярно биссектрисе тупого угла между оптическими осями.

При ориентации образцов может также оказать существенную помощь определение плоскостей спайности по появлению серии трещин при охлаждении образца обильным смачиванием быстро испаряющимся веществом (например, дихлорэтаном). В случае стильбена серия трещин параллельна плоскости оптических осей.

Учитывая рентгеноструктурные данные об элементарной ячейке кристалла стильбена <sup>(3)</sup>, можно предположить, что плоскость спайности является плоскостью кристаллографических осей  $a$ ,  $b$ , так как ось  $c$  соответствует наибольшей постоянной решетки и естественно предположить здесь наиболее слабую связь. Справедливость этого предположения может быть подтверждена или опровергнута только опытом. Если мы примем это предположение, то оси  $a$  и  $b$  должны лежать в плоскости оптических осей, соответствующей данной длине волны. Спектр флуоресценции сплошной, ему соответствует некоторая средняя плоскость.

Кристаллическая решетка стильбена принадлежит к моноклинной системе, следовательно, ось  $b$  должна совпадать с одной из главных осей индикатрисы, т. е. либо с тупой, либо с острой биссектрисой оптических осей. Остается решить, с какой именно. Этот выбор может быть сделан с помощью азимутальной зависимости степени поляризации для полусферы, срезанной по плоскости оптических осей.

Исходя из рентгеноструктурных данных об ориентации молекул в решетке и сделав определенное предположение об ориентации осциллятора излучения в молекуле, можно теоретически рассчитать азимутальные зависимости и поляризационные диаграммы люминесценции.

Расчет азимутальной зависимости для среза по плоскости оптических осей приводит к результату, что положительный максимум поляризации приблизительно соответствует такому положению кристалла, когда ось  $a$  вертикальна, а отрицательный — такому положению, когда ось  $b$  вертикальна. С другой стороны, экспериментальное измерение азимутальной зависимости показывает, что отрицательному максимуму соответствует вертикальное положение тупой биссектрисы, положительному — острой. Отсюда следует, что ось  $b$  совпадает с тупой биссектрисой, ось  $a$  — с острой. Зная, таким образом, ориентацию кристаллографических осей во всех трех срезах полусфер, мы можем воспользоваться известными из рентгеноструктурных данных <sup>(3)</sup> углами между осями молекул и кристаллографическими и рассчитать степень поляризации люминесценции для любой интересующей нас ориентации кристалла и любого направления наблюдения, т. е. все интересующие нас поляризационные диаграммы. В кристалле стильбена имеются молекулы, ориентированные двумя различными способами. Мы должны задаться определенным положением осциллятора излучения в молекуле. Были произведены расчеты в двух предположениях: осциллятор излучения направлен по длинной оси  $L$  и по поперечной оси  $M$  молекулы. Согласно с опытом получилось при первом предположении, на основании чего и можно считать, что осциллятор излучения направлен по длинной оси  $L$  молекулы. Это согласуется с результатами Пестейля <sup>(4)</sup>. Расчеты поляризационных диаграмм в принципе не сложны, но кропотливы.

На рис. 1 приведены рассчитанные положительные и отрицательные



поляризационные диаграммы для всех трех указанных срезов. На рис. 2 приведены экспериментально измеренные положительные и отрицательные поляризационные диаграммы для тех же ориентаций срезов полусфер.

Можно сказать, что качественно ход соответствующих расчетных поляризационных диаграмм во всех случаях довольно хорошо согласуется с хо-

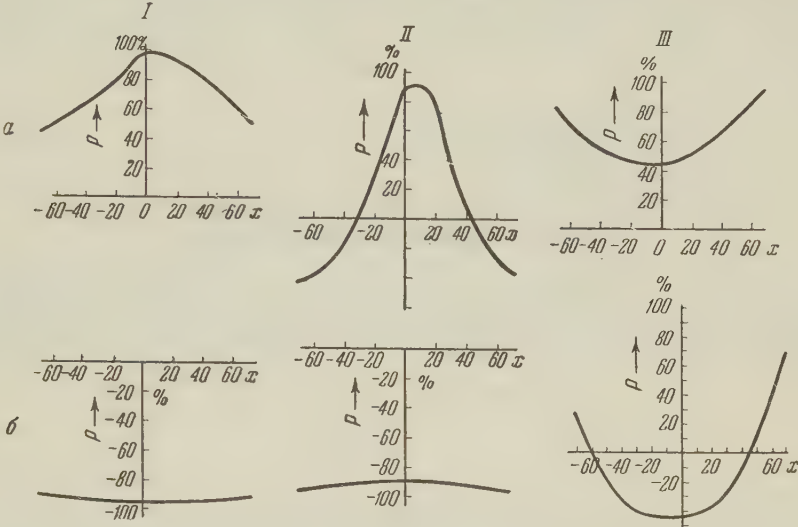


Рис. 1. Рассчитанные поляризационные диаграммы кри. талла стильбена: а — положительные; б — отрицательные. I — срез по плоскости  $ab$ ; II — срез по плоскости  $bc^1$ ; III — срез по плоскости  $ac^1$

дом экспериментальных поляризационных диаграмм без введения каких бы то ни было поправок на двойное преломление. Тем самым оправдывается выбор сферической формы кристаллов для этих измерений. Согласие хода расчетных и измеренных диаграмм позволяет ставить вопрос об определе-

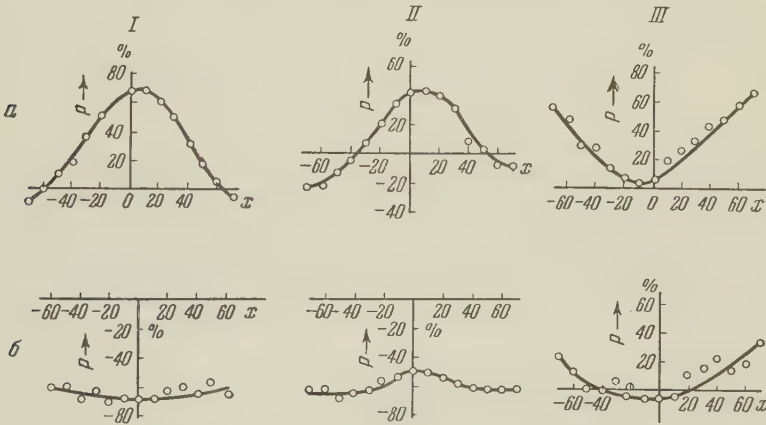


Рис. 2. Экспериментальные поляризационные диаграммы кристалла стильбена. Обозначения см. рис. 1

нии ориентации молекул в кристаллических решетках по поляризации люминесценции, так как даже качественный характер диаграмм дает возможность судить о характере ориентации молекул в решетке, другими словами, — открывается возможность использования нового метода исследования струк-



туры кристаллов, который может быть вспомогательным к методу рентгено-структурного анализа.

Однако количественного согласия между расчетными и опытными диаграммами нет — несмотря на то, что ход кривых одинаков, экспериментальные значения степени поляризации меньше теоретических, как и в случае антрацена. Возможно, что это результат влияния температуры и тепловых колебаний молекул. Чтобы убедиться в этом, в дальнейшем необходимо изучить влияние температуры на поляризацию люминесценции кристаллов.

Физический институт им. П. Н. Лебедева  
Академии наук СССР  
Институт кристаллографии  
Академии наук СССР

Поступило  
27 III 1957

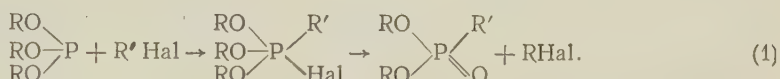
#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Н. Д. Жевандров, Изв. АН СССР, сер. физ., 20, 553 (1956). <sup>2</sup> Н. М. Меланхолин, С. В. Грум-Гржимайло, Методы исследования оптических свойств кристаллов, Изд. АН СССР, 1954, стр. 170. <sup>3</sup> А. И. Китайгородский, Органическая кристаллохимия, Изд. АН СССР, 1955, стр. 401. <sup>4</sup> P. Pesteil, Ann. Phys., 10, 128 (1955).

Академик А. Е. АРБУЗОВ и Н. Н. САЗОНОВА

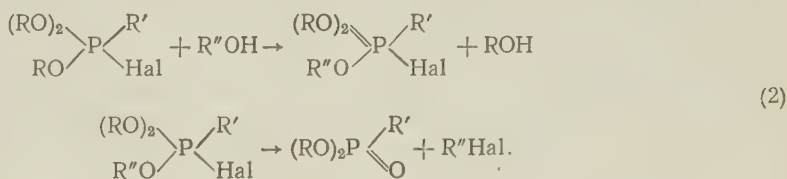
# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ПРОДУКТОВ АРБУЗОВСКОЙ ПЕРЕГРУППИРОВКИ С АМИНАМИ

В 1905 г. одним из нас <sup>(1)</sup> была открыта реакция, впоследствии получившая название арбузовской перегруппировки. Ее общая схема такова:



Для фосфитов, у которых R — алифатический радикал, промежуточный комплекс является веществом неустойчивым, легко отщепляет галоидный алкил и превращается в эфир алкилфосфиновой кислоты. Для фосфитов, у которых R — ароматический радикал, промежуточный комплекс может быть выделен в аналитически чистом виде <sup>(2, 3)</sup>.

Промежуточные продукты арбузовской перегруппировки — вещества реакционноспособные. Они энергично взаимодействуют с водой и различными спиртами <sup>(2, 4)</sup>. Ландауэром и Ридоном <sup>(4)</sup> приводится следующая схема реакции промежуточных комплексов со спиртами



Поскольку первая фаза этой реакции, по всей вероятности, протекает за счет активного водорода спирта, то такую же реакцию можно ожидать и с другими веществами, имеющими активный водород. Нами были взяты вместо спирта вторичные амины. В реакцию с диалкиламинами (диэтиламином и диметиламином) были взяты следующие полученные нами комплексы (№ 1— в табл. 1).

Таблица 1

№№ п.п.	Комплекс	Образование		Т. пл., °С	Hal, %		Выход, %
		время, час	темп. °С		выч.	найд.	
1	(C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O) <sub>3</sub> PC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> J	8—10	100	130		25,29	кол.
2	(o-CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> O) <sub>3</sub> PC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> J	4	100	135—136	25,7	25,72	кол.
3	(o-ClC <sub>6</sub> H <sub>4</sub> O) <sub>3</sub> PC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> J	7	100—110	49	22,86	22,64	75
4	(n-ClC <sub>6</sub> H <sub>4</sub> O) <sub>3</sub> PC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> J	13	100	104	22,86	22,56	кол.
5	(o-CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> O) <sub>3</sub> PC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> J	16	110—120	107—108	25	24,84	70
6	(o-CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> O) <sub>3</sub> PC <sub>4</sub> H <sub>9</sub> J	36	110—120		масло		

Промежуточные продукты арбузовской перегруппировки получались нагреванием эквимолекулярных количеств (фосфита и галоидного алкила) в запаянных трубках.

Первоначально с некоторыми промежуточными комплексами была проведена реакция разложения их этиловым спиртом и в результате были выделены эфиры алкилфосфиновых кислот (№№ 1—4 в табл. 2).

Таблица 2

№№ п.п.	Эфир	Т. кип., °С мм рт. ст.	$d_4^{20}$	$n_D^{20}$	Р (N), %		Выход, %	$\frac{MR_{\text{выч}}}{MR_{\text{найд}}}$
					выч.	найд.		
1	$(o\text{-CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_2\text{P} \begin{array}{l} \text{CH}_3 \\ \diagup \\ \text{O} \end{array}$	215/16	Т. пл. 64		11,23	$\begin{array}{l} 11,08 \\ 11,05 \end{array}$	74,6	
2	$(o\text{-CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_2\text{P} \begin{array}{l} \text{C}_2\text{H}_5 \\ \diagup \\ \text{O} \end{array}$	213—214/12	1,1410	1,5415	10,69	$\begin{array}{l} 10,48 \\ 10,59 \end{array}$	38,8	$\frac{79,75}{79,92}$
3	$(o\text{-ClC}_6\text{H}_4\text{O})_2\text{P} \begin{array}{l} \text{CH}_3 \\ \diagup \\ \text{O} \end{array}$	176—177/3	1,3350	1,5560	9,78	$\begin{array}{l} 9,9 \\ 10,06 \end{array}$	30	$\frac{75,63}{76,32}$
4	$(o\text{-CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_2\text{P} \begin{array}{l} \text{C}_4\text{H}_9 \\ \diagup \\ \text{O} \end{array}$	216—217/11	1,1071	1,5321	9,74	$\begin{array}{l} 9,66 \\ 9,78 \end{array}$	30,2	$\frac{88,99}{89,02}$
5	$(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{P}-\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$	176—178/4	1,0902	1,5532	10,72	$\begin{array}{l} 10,74 \\ 10,86 \end{array}$	62,8	$\frac{84,85}{44}$

Как известно, реакция промежуточных комплексов со спиртами сопровождается выделением большого количества тепла. Подобное же явление наблюдается при разложении их аминами.

В результате реакции взаимодействия продуктов 1—5 табл. 1 с аминами всегда количественно выделялся фенол или, соответственно, его аналог. Второй продукт этой реакции только в четырех случаях удалось получить в кристаллическом состоянии и очистить перекристаллизацией из смеси ацетон—эфир (№№ 1—4 в табл. 3).

Таблица 3

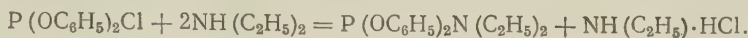
№№ п.п.	Вещество	Т. пл., °С	Р, %		Выход, %	Внеш- ний вид
			выч.	найд.		
1	$\text{CH}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{P}=\overset{+}{\text{N}}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{J}^-$	126	7,19	$\begin{array}{l} 7,06 \\ 7,06 \end{array}$	56	иглы
2	$\text{CH}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{P}=\overset{+}{\text{N}}(\text{CH}_3)_2\text{J}^-$	$\begin{array}{l} 008,5 \\ 109 \end{array}$	7,69	$\begin{array}{l} 7,58 \\ 7,73 \end{array}$	26	иглы
3	$\text{CH}_3(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_2\text{P}=\overset{+}{\text{N}}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{J}^-$	141	6,75	$\begin{array}{l} 6,59 \\ 6,54 \end{array}$	41,1	иглы
4	$\text{CH}_3(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_2\text{P}=\overset{+}{\text{N}}(\text{CH}_3)_2\text{J}^-$	$\begin{array}{l} 136,5 \\ 137 \end{array}$	7,19	$\begin{array}{l} 7,12 \\ 7,26 \end{array}$	28,8	иглы

Остальные продукты представляли собой вязкие, слегка бурого цвета жидкости, которые при стоянии на воздухе омылялись с выделением йодистоводородной соли диалкиламина.

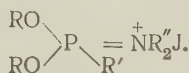
При попытке изомеризовать эфир диэтиламидодифенилфосфористой кислоты йодистым метилом, был получен продукт, тождественный продукту взаимодействия метилтрифеноксифосфония с диэтиламином. Амидофосфит (№ 5 в табл. 2), как соединение с трехвалентным фосфором, бурно реагирует с бромом в количественных отношениях, а также вступает в реакцию с йодистой медью, образуя кристаллический комплекс с т. пл. 111° и мол. весом 1443 против вычисленного  $479,5 \times 3$  (1438,5).



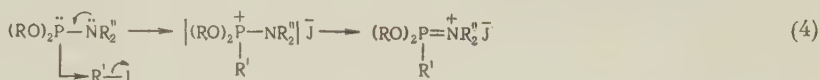
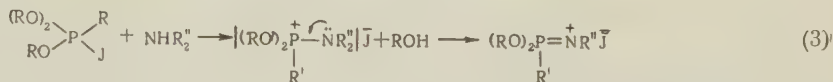
Амидофосфит был получен из хлорангидрида дифенилфосфористой кислоты и диэтиламина в среде эфира



При нагревании эквимолекулярных количеств амидофосфита с йодистым метилом при температуре 100° в течение получаса и последующего охлаждения, вся масса в трубке полностью закристаллизовалась. Для основного продукта реакции нами предлагается формула:



Его образование мы предполагаем протекающим по следующим схемам.



Для подтверждения предполагаемого строения продуктов №№ 1—4 в табл. 3 был проделан ряд химических реакций.

Омылением продукта № 1 табл. 3 была получена метилфосфиновая кислота с т. пл 102° и йодистоводородная соль диэтиламина с количественным выходом. Этот факт говорит о том, что метильная группа связана с фосфором.

Йод в этом продукте находится в виде иона. Это подтверждается количественным осаждением AgJ азотнокислым серебром в среде этилового спирта. Только таким строением продукта можно объяснить отсутствие у них реакций по схемам (1) и (2).

Предполагаемая нами схема образования продуктов №№ 1—4 из табл. 3 находит подтверждение в ряде работ по изомеризации амидофосфитов. Ранее авторами (5—7) было показано, что в результате изомеризации амидофосфитов галоидными алкилами в противоположность изомеризации диамидофосфитов, когда образуется нормальный изомеризованный продукт (8), получается неперегоняющаяся масса и соль диалкиламина.

Поступило  
29 IV 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> А. Е. Арбузов, О строении фосфористой кислоты и ее производных, СПб., 1905.  
<sup>2</sup> A. Michaelis, R. Kaehne, Ber., 31, 1048 (1898). <sup>3</sup> А. Е. Арбузов, Л. В. Нестеров, ДАН, 92, 57 (1953). <sup>4</sup> J. Landauer, H. Ridon, J. Chem. Soc., 1958, 2224. <sup>5</sup> А. Е. Арбузов, В. М. Зороастрова, Изв. АН СССР, ОХН, 1952, 789.  
<sup>6</sup> Б. А. Арбузов, Д. Х. Ярмухаметова, ДАН, 101, 675 (1955). <sup>7</sup> Б. А. Арбузов, Н. И. Ризположенский, М. А. Зверева, Изв. АН СССР, ОХН, 1955, 1021. <sup>8</sup> A. Michaelis, Ann. Chem., 326, 129 (1903).

О. П. ГОЛОВА, А. М. ПАХОМОВ, Е. А. АНДРИЕВСКАЯ и Р. Г. КРЫЛОВА  
О МЕХАНИЗМЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РАСПАДА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ВАКУУМЕ  
И ОБРАЗОВАНИИ 1,6-АНГИДРО-1,5-ГЛЮКОПИРАНОЗЫ —  
ЛЕВОГЛЮКОЗАНА

(Представлено академиком И. Н. Назаровым 7 VI 1957)

До последнего времени не имеется однозначного объяснения механизма образования, при термическом распаде целлюлозы в вакууме, 1,6-ангидро-1,5-глюкопиранозы — левоглюкозана, соединения с элементарным составом звена структурной единицы целлюлозы, но имеющего иное положение гидроксила (у  $C_4$  вместо  $C_6$ ) и два кислородных мостика вместо одного 1—5.

Ирвин и Ольдхем <sup>(1)</sup> предложили механизм образования левоглюкозана через промежуточную стадию гидролиза целлюлозы до глюкозы и дегидратацию последней.

Эта гипотеза находила подтверждение в сообщениях П. Каррера <sup>(2)</sup> о получении левоглюкозана с большим выходом из  $\beta$ -*d*-глюкозы.

Для правильной оценки существующих представлений механизма образования левоглюкозана из целлюлозы, представляющего частный случай термической деполимеризации полисахаридов до мономера, мы считали необходимым проведение исследований с тем, чтобы получить данные для решения принципиальных вопросов, связанных с образованием левоглюкозана из целлюлозы.

Таковыми принципиальными данными являются: 1) получение устойчивого выхода левоглюкозана при термическом распаде целлюлозы, 2) возможность образования левоглюкозана из  $\beta$ -*d*-глюкозы, 3) влияние физической структуры целлюлозы (плотности упаковки) на ее термический распад, 4) влияние глюкозы на процесс образования левоглюкозана из целлюлозы, 5) влияние величины степени полимеризации целлюлозы.

В результате систематических исследований при изменении различных физических факторов были найдены условия (температура, вакуум и свойства целлюлозы), позволяющие постоянно получать 55—60% левоглюкозана.

Результаты, полученные при изучении возможности образования левоглюкозана из  $\beta$ -*d*-глюкозы в оптимальных условиях термического распада целлюлозы, представлены в табл. 1. Как видно из данных таблицы, выход левоглюкозана составляет всего лишь 5—6% от глюкозы.

Таблица 1

Получение левоглюкозана из  $\beta$ -*d*-глюкозы и целлюлозы  
при термическом распаде в вакууме

Исходный продукт	Выход продуктов в % к исходному		Выход левоглюкозана в % к исходному продукту
	твердый дистиллят	жидкий дистиллят + сухой остаток	
$\beta$ - <i>d</i> -Глюкоза	39—42	57	5—6
Целлюлоза	73—75	24	54—60
Левоглюкозан	98,8	—	98,8

Исследования термического превращения глюкозы показывают, что превращение глюкозы в левоглюкозан возможно, но степень превращения очень незначительна — всего 6%. Данные Каррера о большом выходе левоглюкозана из  $\beta$ -*d*-глюкозы не подтвердились. Примененная нами впервые методика разделения продуктов термического распада глюкозы с помощью анионитов позволила идентифицировать левоглюкозан и дать однозначный ответ о возможности образования левоглюкозана и о его количестве.

Исследования, проведенные с целлюлозой, обладающей различной физической структурой, характеризующей плотностью упаковки, были опубликованы нами ранее (3).

Полученные результаты данного исследования говорят об изменении направления химического процесса термораспада целлюлозы в зависимости от упаковки макромолекул в реальном образце. Из этих данных следует, что химические процессы термического распада целлюлозы нельзя рассматривать исходя только из представления о строении индивидуальных молекул полимера. Понижение плотности упаковки макромолекул ведет к понижению выхода левоглюкозана и увеличивает выход продуктов глубокого распада целлюлозы.

Факты низкого выхода левоглюкозана из  $\beta$ -*d*-глюкозы (5—6%) и из легко гидролизуемой целлюлозы привели нас к необходимости исследовать влияние присутствия самой глюкозы на процесс образования левоглюкозана из целлюлозы. С этой целью глюкоза вводилась в реакционную систему в количестве от 2 до 20% от веса целлюлозы. Результаты представлены на рис. 1.

Как видно из рис. 1, введение глюкозы независимо от количества снижает выход левоглюкозана до 30%.

Поскольку при термическом распаде мономера (глюкозы) левоглюкозан не является главным продуктом, то представлялось необходимым также исследовать влияние степени полимеризации на выход левоглюкозана при термическом распаде целлюлозы. Результаты этих опытов представлены в табл. 2.

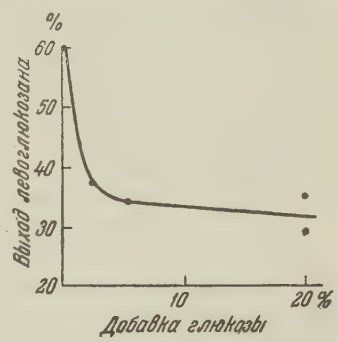


Рис. 1. Влияние добавки глюкозы к целлюлозе на выход левоглюкозана

Таблица 2

Влияние степени полимеризации на образование левоглюкозана

Степень полимеризации	Содержание СООН-групп на 100 глюкозных остатков	Выход продуктов распада в % к целлюлозе		Содержание левоглюкозана в пасте по приросту Р. В.	Выход левоглюкозана в % к целлюлозе
		твердый дистиллят	жидкий дистиллят и сухой остаток		
1000	0,144	78	19,0	77,0	60,0
450	0,144	72	23,0	78,3	56,0
200	0,144	76	22,0	72,0	54,0
190	0,144	74	25,0	72,6	53,0
150	0,144	75	20,0	72,5	54,0
Целлобиоза	—	25	—	—	3—4

Как следует из данных табл. 2, изменение степени полимеризации в образцах целлюлозы от 1000 до 150 практически не оказывает влияния на



образование левоглюкозана; выход его составляет 55—60% при условии неизменности физической структуры.

Для выяснения вопроса о влиянии минимальной длины цепи на образование левоглюкозана были проведены исследования термического воздействия на целлобиозу в вакууме в тех же условиях, что и при разложении целлюлозы.

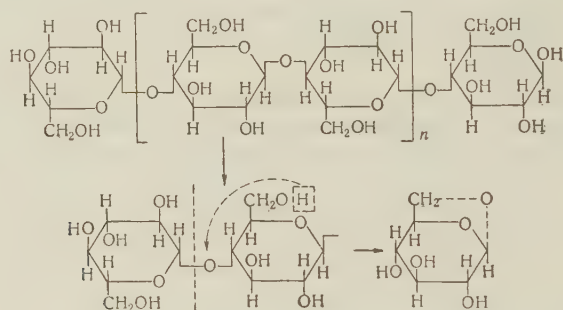
Мы установили, что выход пастообразного дистиллята равен 25% и выход левоглюкозана составляет всего лишь 3—4%, считая на целлобиозу (см. табл. 2).

Полученные нами данные показывают, что основные элементы гипотезы образования левоглюкозана через промежуточные стадии гидролиза целлюлозы до глюкозы и дегидратации глюкозы до левоглюкозана экспериментально не подтверждаются, и, следовательно, сама гипотеза не является справедливой.

Исходя из приведенных фактов, следует считать, что механизм образования левоглюкозана должен включать следующие процессы.

В областях с плотной упаковкой преимущественно идет образование левоглюкозана. Здесь процессы дегидратации и гидролиза имеют лишь второстепенное значение. В областях с измененной структурой преимущественно идут дегидратация и гидролиз, приводящие к образованию химически измененных и, возможно, термически неустойчивых глюкопиранозных звеньев молекулы целлюлозы. Поэтому разрывы 1,4-β-глюкозидных связей в этом случае не приводят к образованию левоглюкозана.

По нашему представлению, процесс изомеризации, по-видимому, включает миграцию водорода гидроксильной группы от 6-го углерода к атому кислорода при 4-м атоме углерода и замыкание 1-го углеродного атома с 6-м углеродным атомом через атом кислорода с образованием пяти- и семи-членного цикла с сохранением шестичленного цикла:



Согласно расчетам Ривса <sup>(4)</sup>, пространственное расположение атомов ангидроглюкозного звена благоприятствует образованию 1-6-ангидрокольца благодаря тому, что расстояние между 1-м и 6-м углеродными атомами является наименьшим по сравнению с любой другой парой соседних углеродных атомов.

Понижение выхода левоглюкозана при добавлении глюкозы к целлюлозе вызвано, по-видимому, тормозящим действием весьма активных осколков молекулы глюкозы на изомеризацию фрагментов цепи целлюлозы в левоглюкозан или блокировкой радикального центра, возникающего как первый акт процесса образования левоглюкозана.

Можно предположить, что для образования значительных количеств левоглюкозана в результате изомеризации глюкопиранозного звена целлюлозы необходимо наличие цепи с величиной степени полимеризации, обеспечивающей такую физическую структуру, которая, в виду блокировки гидроксильных групп водородными связями, тормозит процесс дегидратации и другие побочные процессы.



В ы в о д ы. 1. Небольшой выход левоглюкозана при термическом распаде легкогидролизуемой целлюлозы, глюкозы и целлобиозы с добавкой глюкозы опровергает возможность присутствия промежуточных стадий образования глюкозы и дегидратации глюкозы до левоглюкозана, как промежуточных стадий при образовании левоглюкозана из целлюлозы.

Эти факты не подтверждают распространенный в литературе гидролитический дегидратационный механизм образования левоглюкозана.

2. Образование левоглюкозана со значительным выходом (55—60%) происходит лишь при наличии определенной длины цепи макромолекулы целлюлозы. Показано, что значительному выходу левоглюкозана при термическом распаде целлюлозы в вакууме необходима уплотненная структура целлюлозы.

3. Процесс образования левоглюкозана включает распад молекулы целлюлозы по 1,4-β-глюкозидным связям и последующую изомеризацию полученного фрагмента цепи в молекулу левоглюкозана.

Основные выводы, сделанные при исследовании целлюлозы, могут быть распространены на термический распад других полисахаридов, а также, вероятно, на другие виды полимеров.

Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского  
Академии наук СССР  
Институт леса  
Академии наук СССР

Поступило  
28 V 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> J. C. Irvine, J. W. H. Oldham, J. Soc. Chem. Ind., 119, 1744 (1921). <sup>2</sup> P. Karger, *Helv. Chim. Acta*, 3, 258 (1920). <sup>3</sup> О. П. Голова, А. М. Пахомов, Е. А. Андриевская, ДАН, 112, № 3, 430 (1957). <sup>4</sup> R. E. Reeves, J. Am. Chem. Soc., 71, 2116 (1949).

Н. И. ЕРШОВ и Я. Т. ЭЙДУС

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЦЕПНОГО МЕХАНИЗМА ГЕТЕРОГЕННО-КАТАЛИТИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ГИДРОПОЛИМЕРИЗАЦИИ ОЛЕФИНОВ, ПРОТЕКАЮЩЕЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ОКИСИ УГЛЕРОДА И ВОДОРОДА

(Представлено академиком Б. А. Казанским 19 IV 1957)

Цепные реакции, протекающие в объеме и инициируемые свободными атомами или радикалами широко известны и подробно изучены. Однако до сих пор нет прямых и однозначных экспериментальных доказательств возможности протекания цепного процесса на поверхности твердого катализатора, хотя доказано, что некоторые реакции идут на твердом катализаторе по радикальному механизму, а также опубликованы теоретические работы (1), допускающие возможность цепных гетерогенно-каталитических реакций. Ранее нами показано (2), что радикалы, образующиеся при гетерогенно-каталитическом восстановлении окиси углерода водородом, являются инициаторами гидрополимеризации олефинов. Представляло интерес выяснить, не имеет ли эта реакция цепного характера, поскольку при гомогенной полимеризации олефинов под действием свободных атомов и радикалов процесс протекает, как правило, по цепному механизму. Это относится к реакциям полимеризации олефинов (этилена, пропилена, бутиленов), инициируемым как простейшими алкильными радикалами (метильные и этильные), так и метиленовыми радикалами, полученными разложением кетена. При проведении реакции гидрополимеризации с олефинами  $C_2 - C_4$

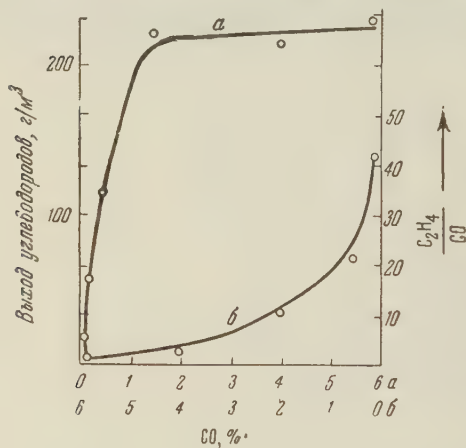


Рис. 1

и  $C_6$  (3—6) было установлено, что при небольших концентрациях окиси углерода (1—2%), содержащейся в примерно эквимолекулярных смесях олефина с водородом, при 190° и атмосферном давлении одна молекула окиси углерода, вступившая в реакцию, вовлекает в процесс гидрополимеризации до 45 молекул олефина (этилена) (рис. 1, кривая б). Из этого видно, что окись углерода ввиду весьма малых ее количеств, вступивших в реакцию, не может рассматриваться как реагент в обычном смысле. По своему влиянию на реакцию, которая протекает только с ее участием, окись углерода может выступать в роли инициатора цепного процесса полимеризации или же катализатора. Однако роль катализатора в данном случае исключается, поскольку окись углерода входит в конечные продукты реакции без регенерации. Окись углерода в этой реакции является инициатором процесса, имеющего явно некоторые из основных признаков, определяющих цепной характер

реакций полимеризации олефинов в объеме, инициируемых свободными алкильными радикалами, — длину цепи, или выход на инициатор (число запolyмеризованных молекул олефина, приходящихся на частицу инициатора), значительно превышающих единицу, и закономерное уменьшение длины цепи или выхода на инициатор с увеличением его концентрации.

Одна из характерных особенностей гомогенных цепных реакций полимеризации олефинов под влиянием свободных алкильных радикалов — зависимость длины цепи или выхода на инициатор от концентрации этих радикалов. Эта зависимость обусловлена различием в скоростях реакции радикалов с молекулами олефина и рекомбинации радикалов. При значительных концентрациях радикалов преобладает их рекомбинация, и присоединение к олефинам (иницирование) протекает медленно или даже не идет вовсе; при малых же концентрациях свободных радикалов, наоборот, условия мало благоприятны для их рекомбинации, вследствие чего имеет место массовое присоединение их к олефину, что приводит к возрастанию скорости полимеризации. Таким образом, было observed, что выход на инициатор возрастает с уменьшением концентрации инициатора (свободных радикалов). Все это хорошо видно из следующих примеров: при внесении <sup>(9)</sup> на каждые 15,3 л этилена 117, 34, 4 и 0,1 мл тетраэтилсвинца, разложением которого образовались этильные радикалы, на один этильный радикал запolyмеризовалось соответственно 0,15; 0,83; 6,4; 225 молекул этилена; при полимеризации этилена <sup>(10)</sup> под действием метильных радикалов, образовавшихся разложением тетраметилсвинца, при употреблении 0,5 и 7,3% последнего от веса этилена, выходы на инициатор составляли 5 и 0,59 соответственно. Аналогичная зависимость выхода на инициатор от концентрации окиси углерода наблюдается и в реакции гидрополимеризации олефинов: меньшим концентрациям окиси углерода соответствуют большие выходы на инициатор, что видно из кривой б рис. 1, относящейся к реакции с этиленом, и из табл. 1, где приведены данные по гидрополимеризации этилена, пропилена и бутена-1. В максимуме скорости реакции, который наблюдается

Таблица 1

Исходный олефин	Концентрация СО в исходном газе, %	Выход на инициатор, %
Этилен	0,1	44,0
	0,5	22,0
	4,6	8,0
	15—20	4,0
Пропилен	5,7	3,7
	6,2	3,7
	11,6	0,7
	13,6	0,4
	15,4	0,2
	18,4	0,1
Бутен-1	22,0	0,0
	4,0	2,2
	5,5	2,4
	6,0	1,7
	12,2	0,4
	14,8	0,16

скорости реакции, который наблюдается у всех олефинов при 5—6% СО в исходном газе и отношениях водорода к окиси углерода 6—8, выход на инициатор у этилена равен примерно 8, у пропилена ~ 4, бутена ~ 3, гексена 1—2. Скорость реакции имеет сложную зависимость от концентрации окиси углерода в интервале до 5—6% окиси углерода в олефин-водородных смесях наблюдается непрерывное нарастание скорости реакции, которая замедляется при дальнейшем увеличении концентрации СО вплоть до полного прекращения реакции у олефинов С<sub>3</sub> — С<sub>4</sub>. Зависимость скорости образования продуктов реакции от концентрации окиси углерода при гидрополимеризации этилена показана на рис. 1 (кривая а). Гетерогенно-каталитический характер реакции гидрополимеризации выражен в том влиянии, которое оказывает адсорбция олефина на реакцию: реакция протекает только в том случае, когда имеется на катализаторе адсорбированный олефин. При работе с газом, содержащим 50% С<sub>3</sub>Н<sub>6</sub>, 25% Н<sub>2</sub> и 25% СО, пропилен не участвует в реакции, а также не гидрируется водородом в пропан, хотя и наблюдается обычная реакция образования углеводородов из окиси углерода и водорода. Окись углерода,



обладая большей склонностью к адсорбции, чем пропилен, блокирует поверхность катализатора, а при отсутствии пропилена на поверхности нет и реакции гидрополимеризации. Гетерогенно-каталитический характер реакции также доказывается получением постоянных выходов углеводородов, отнесенных к единице объема исходного активного газа при разбавлении последнего азотом <sup>(11)</sup>.

Из этого следует, что реакция гидрополимеризации олефинов под влиянием окиси углерода и водорода является гетерогенно-каталитической реакцией с радикально-цепным механизмом.

Таким образом, на примере этой реакции впервые в гетерогенном катализе экспериментально обоснована возможность протекания гетерогенно-каталитических реакций по радикально-цепному механизму.

Вполне вероятно, что и родственной реакции гидрополимеризации процесс образования углеводородов из СО и Н<sub>2</sub> также протекает в определенной стадии по радикально-цепному механизму. Начальная стадия этого процесса протекает по радикальному механизму (гидроконденсация), при образовании олефинов. С накоплением последних на поверхности катализатора начинается их гидрополимеризация, идущая по цепному механизму и осложненная рядом других реакций, например гидрокрекингом, гидрированием и т. д. Образование углеводородов происходит при сложном сочетании радикального механизма с радикально-цепным. В этом свете реакция гидрополимеризации олефинов, начинающаяся со стадии введения олефина, рассматривается как заключительная часть сложной реакции образования углеводородов из СО и Н<sub>2</sub>.

В общности характера реакций гидрополимеризации и образования углеводородов из СО и Н<sub>2</sub> убеждает нас идентичность их зависимости от температуры и большое сходство в характере продуктов реакции.

Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского  
Академии наук СССР

Поступило  
19 IV 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. В. Воеводский, Ф. Ф. Волькенштейн, Н. Н. Семенов, Сборн. Вопросы химической кинетики, катализа и реакционной способности, Изд. АН СССР, 1955, стр. 423. <sup>2</sup> Я. Т. Эйдуc, Н. Д. Зелинский, Н. И. Ершов, ДАН, **60**, 599 (1948). <sup>3</sup> Я. Т. Эйдуc, Н. Д. Зелинский, Н. И. Ершов, М. И. Батуев, Изв. АН СССР, ОХН, 1950, 377. <sup>4</sup> Н. Д. Зелинский, Я. Т. Эйдуc, К. В. Пузицкий, М. И. Батуев, Изв. АН СССР, ОХН, 1950, 647. <sup>5</sup> Я. Т. Эйдуc, Н. Д. Зелинский, К. В. Пузицкий, Н. И. Ершов, Изв. АН СССР, ОХН, 1952, 145. <sup>6</sup> Я. Т. Эйдуc, Н. И. Ершов, М. И. Батуев, Н. Д. Зелинский, Изв. АН СССР, ОХН, 1951, 722. <sup>7</sup> Я. Т. Эйдуc, Н. И. Ершов, Е. М. Терентьева, Изв. АН СССР, ОХН, 1954, 882. <sup>8</sup> Н. И. Ершов, Диссертация, ИОХ АН СССР, 1955. <sup>9</sup> C. J. Dambly, C. W. Hinshelwood, Proc. Roy. Soc., **179**, 169 (1941). <sup>10</sup> P. S. Gatter, J. Am. chem. Soc., **56**, 1234 (1934). <sup>11</sup> Я. Т. Эйдуc, К. В. Пузицкий, Н. И. Ершов, Сборн. Вопросы химич. кинетики, катал. и реакц. способ., Изд. АН СССР, 1955, стр. 548



ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

В. И. КЛАСSEN и Л. П. СТАРЧИК

К МЕХАНИЗМУ ДЕЙСТВИЯ РЕАГЕНТОВ ПРИ ФЛОТАЦИИ

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 25 III 1957)

Уже ранние работы в области теории флотации обращали внимание на исключительное значение линейной зоны трехфазного контакта. П. А. Ребиндер указывал, что именно в этой зоне следует искать разгадку молекулярного механизма действия реагентов на прилипание зерен минералов к пузырькам воздуха <sup>(1)</sup>. Оствальд высказал предположение, что реагенты-собиратели закрепляются преимущественно вдоль трехфазного контакта; особенно пригодны для этого реагенты, молекулы которых имеют «трифильное» строение, т. е. группы, имеющие сходство, соответственно, с минералом, водой и воздухом <sup>(2)</sup>. Такие молекулы должны наиболее устойчиво закрепляться на трехфазной границе раздела фаз. Брэдли рассмотрел явления линейного натяжения и линейной адсорбции на трехфазных границах, а Д. Талмуд экспериментально установил, что аполярные реагенты-масла образуют тонкую нить вдоль границы раздела фаз <sup>(3)</sup>.

Все эти соображения не были, по существу, подтверждены экспериментально, особенно применительно к случаям пенной флотации. Поэтому они практически не учитываются большинством исследователей.

Между тем в случае подтверждения повышенной концентрации в зоне трехфазного контакта молекул реагентов-собирателей можно во многом объяснить механизм закрепления минеральных зерен на пузырьках, причины молекулярного гистерезиса смачивания <sup>(1)</sup>, а также объяснить возможность флотации при крайне небольших концентрациях реагентов. Экспериментальное подтверждение указанных предположений может, таким образом, сыграть положительную роль в развитии теории флотации и, следовательно, в ее практике.

Предыдущие исследования, проведенные И. Н. Плаксиным и нами <sup>(4)</sup>, подтвердили ту часть гипотезы, которая касалась поведения малорастворимых в воде реагентов. В случае достаточной гидрофобности минеральной поверхности капельки таких реагентов мгновенно вытягиваются в сплошную нить по трехфазному контакту. Этим значительно повышается прочность закрепления зерен на пузырьках. Присутствие таких реагентов заметно повышает верхний предел крупности зерен каменного угля, самородной серы и им подобных минералов, переходящих в пенный продукт при флотации.

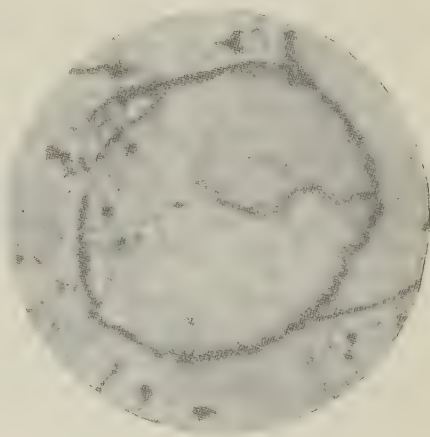


Рис. 1. След капли водного раствора ксантогената на поверхности зерна галенита

Описываемые здесь опыты позволили подтвердить наличие повышенной концентрации в зоне трехфазного контакта и главных реагентов-собира- телей, молекулы которых имеют гетерополярное строение. В качестве пред- ставителя таких реагентов был взят этиловый ксантогенат калия с радиоак- тивным изотопом серы  $S^{35}$ , в качестве минерала — галенит\*. В качестве основного метода исследования была принята микроавтордиография (<sup>5</sup>).

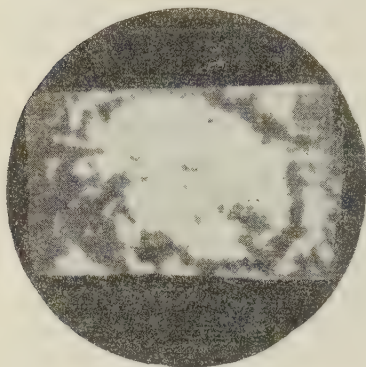


Рис. 2. След пузырька воздуха, при- липшего к поверхности зерна гале- нита в водном растворе ксантогената

В первой серии опытов крупные кри- сталлы галенита с ясно выраженными пло- скостями спайности ориентировались так, что одна из плоскостей располагалась строго горизонтально. На нее пипеткой наносились капли водного раствора ксан- тогената (концентрацией 50 мг/л). Через 2 мин. капля удалялась фильтровальной бумагой. Зерно помещалось на эмульсию фотопластинки, и после определенной экс- позиции пластинка проявлялась. Почти во всех случаях можно было заметить наличие темной каемки вдоль бывшего контура при- липания (см. фото на рис. 1), что свиде- тельствует о преимущественной concentra- ции в этой зоне молекул ксантогената.

Вторая группа опытов еще ближе соот- ветствовала флотационному акту. Зерно галенита помещалось в такой же раствор ксантогената. Через 1—2 сек. на его плоскости помещался пузырек воздуха. По прошествии 1—2 мин. зерно вынималось из раствора, осторожно обезво- живалось и с его плоскости делался автордиографический отпечаток. Опыты показали, что и при таком методе эксперимента молекулы радиоак- тивного ксантогената концентрируются по границе трехфазного контакта (рис. 2).

Таким образом, можно считать, что концентрация молекул реагентов- собирателей в зоне трехфазного контакта повышена по сравнению с другими участками поверхности минерала; дальнейшие исследования в области теории флотации должны учитывать это.

Институт горного дела  
Академии наук СССР

Поступило  
14 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> П. А. Ребиндер и др., Физико-химия флотационных процессов, М., 1933; П. А. Ребиндер, Изв. АН СССР, ОМХН, сер. хим., 5, 703 (1946).
- <sup>2</sup> W. Ostwald, Koll. Zs., 1, 58, N. 2, 179 (1932).
- <sup>3</sup> Д. Талмуд, ЖФХ, 22, № 8, 812 (1931).
- <sup>4</sup> В. И. Клас- сен, И. Н. Плаксин, ДАН, 95, № 4 (1954).
- <sup>5</sup> И. Н. Плаксин, Р. Ш. Ша- феев, С. П. Зайцева, ДАН, 108, № 5 (1956).

\* Опыты с каплей были проведены В. В. Троицким.

М. М. НИКИФОРОВА и З. А. ИОФА

**ПАССИВАЦИЯ И ДЕПАССИВАЦИЯ СВИНЦОВОГО АНОДА  
В КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ КРЕМНЕФТОРИСТОВОДОРОДНОЙ,  
ХЛОРНОЙ И БОРОФТОРИСТОВОДОРОДНОЙ КИСЛОТАХ**

(Представлено академиком А. Н. Фрумкин 28 III 1957)

В последнее время в литературе описаны исследования по электрохимической системе  $\text{PbO}_2$ /кислота/ $\text{Pb}$  с электролитом из достаточно концентрированных хлорной, кремнефтористоводородной или борофтористоводородной кислот (<sup>1</sup>). Такие элементы работают при низких температурах и высоких разрядных токах. Однако поведение свинцового анода и условия, приводящие к его пассивации в указанных кислотах, подробно не изучались.

Для исследования процесса пассивации свинца ( $\text{C}-\text{O}$ ) были использованы перегнанная хлорная кислота, кремнефтористоводородная кислота, содержащая (в %):  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  47,  $\text{SiO}_2$  0,14,  $\text{SO}_4$  0,01 и следы As. Борофтористоводородная кислота готовилась из х. ч.  $\text{H}_3\text{BO}_3$  и  $\text{HF}$  и имела состав (в %):  $\text{HBF}_4$  49,5;  $\text{H}_3\text{BO}_3$  3,04;  $\text{Pb}$  0,1. Опыты проводились в полистироловых ячейках в специальных криостатах (колебание температуры не более  $\pm 0,5^\circ$ ). Потенциал анода измерялся компенсационным методом или при помощи катодного вольтметра по отношению к неполяризуемому  $\text{PbO}_2$ -электроду в том же растворе кислоты\*.

В кислоте данной концентрации при постоянной температуре свинцовый анод остается активным и мало поляризуется, если анодная плотность тока ( $i_a$ ) не превышает определенной критической величины ( $i_{\text{кр}}$ ), зависящей от ряда факторов. Опыты показали, что время, после истечения которого анод пассивируется ( $t_p$ ), зависит от выбранной плотности тока пассивации и в интервале  $t_p$  от нескольких секунд до  $1\frac{1}{2}$  часа с хорошим приближением определяется известным уравнением:  $\lg t_p = A - B \lg i_a$ , где  $A$  и  $B$  — константы.

Снижение температуры во всех случаях сильно уменьшает величину  $i_a$ , при которой анод пассивируется за тот же срок. При большом снижении концентрации кислоты эта плотность тока заметно увеличивается. Наиболее легко пассивируется свинец в  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ . В  $\text{HClO}_4$  и  $\text{HBF}_4$  при  $t > -20^\circ\text{C}$  и  $i_a < 100$  ма/см<sup>2</sup> свинец не пассивируется.

Начальная стадия пассивации, несомненно, является диффузионным процессом. Это следует из того, что при остальных равных условиях, перемешивание (вращение дискового электрода) увеличивает время пассивирования. Например, в  $7,9\text{ N H}_2\text{SiF}_6$  при  $i_a = 40$  ма/см<sup>2</sup> и  $t = -20^\circ$ :

Число оборотов	Без перемеш.	300	450	520	650	800
$t_p$ , мин.	0,86	3,26	7,25	13,3	34	60

При  $i_a > i_{\text{кр}}$  скорость ионизации свинца больше, чем скорость электрохимического переноса ионов  $\text{Pb}^{2+}$  и скорость их диффузии в раствор под влиянием появляющегося градиента концентрации. В результате происходит увеличение концентрации  $\text{Pb}^{2+}$  и образование пористого фазового слоя плохо проводящей двухвалентной свинцовой соли данной

\* Измеренный потенциал  $\text{PbO}_2$  электрода в  $7,9\text{ N H}_2\text{SiF}_6$  при  $25^\circ$  равен 1,774 в, по в. э.



кислоты. Плотность тока и потенциал в порах резко возрастают и на этих участках образуется пассивирующий слой из  $\text{PbO}_2$ .

На рис. 1 показана типичная кривая изменения потенциала со временем при пассивировании  $\text{Pb}$  анода в  $7,9 \text{ N H}_2\text{SiF}_6$  при  $i_a = 40 \text{ ма/см}^2$  и  $t = -10^\circ$  без перемешивания. В начальной стадии пассивирования из-за сопротивления слоя соли потенциал резко поднимается, а ток падает

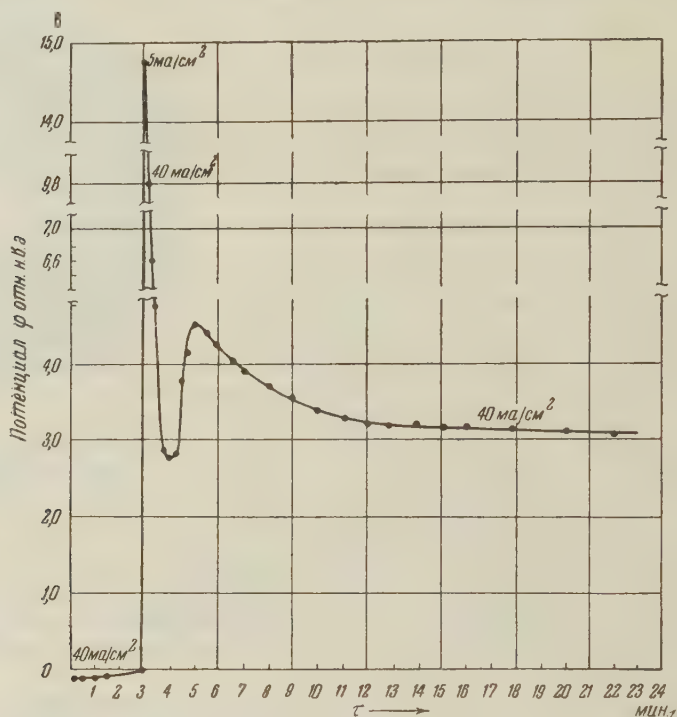


Рис. 1. Изменение потенциала во времени при пассивации свинцового анода в  $7,9 \text{ N H}_2\text{SiF}_6$  при  $t = -10^\circ$

с 40 до 5  $\text{ма/см}^2$ . Затем, вследствие образования в порах  $\text{PbO}_2$ , обладающей хорошей электронной проводимостью<sup>(2)</sup>, становится возможным прохождение тока с выделением кислорода. Поэтому потенциал снижается и ток возрастает до начального значения. Пассивирующий слой из  $\text{PbO}_2$  вскоре распространяется на всю площадь электрода, а слой свинцовой соли, не получая пополнения, быстро растворяется в кислоте, и устанавливается потенциал, отвечающий кислородному перенапряжению на  $\text{PbO}_2$  при данной  $i_a > i_{кр}$ .

На рис. 2 показаны кривые депассивации после выключения пассивирующего тока свинцового анода, запассивированного в  $7,9 \text{ N H}_2\text{SiF}_6$  при  $i_a = 40 \text{ ма/см}^2$  и  $t = -10^\circ$  и выдержанного после запассивирования при той же величине  $i_a$  в течение 1; 2; 4; 6 и 8 мин. Из этого рисунка видно, что потенциал после выключения пассивирующего тока быстро падает до  $\phi = 0,70 \div 0,66$  в по н. в. э. Это значение, характеризующее потенциал пассивного свинца, сохраняется тем больше времени, чем дольше пропускать ток через запассивированный анод.

Вращение электрода ускоряет время депассивации; например, при 700 об/мин. оно уменьшается примерно в 2 раза.

Если после запассивирования через свинцовый анод пропускать ток небольшой плотности ( $i_a < i_{кр}$ ), то потенциал сохраняется некоторое время при том же значении ( $\phi = 0,70 - 0,66$  в по н. в. э.), например после выдержки при  $i_a = 40 \text{ ма/см}^2$  в течение 4 мин. пассивное состояние сохранялось при указанном потенциале в течение 15 мин. при

$i_a = 1$  ма/см<sup>2</sup>, 27 мин. при  $i_a = 4$  ма/см<sup>2</sup> и 40 мин. при  $i_a = 5$  ма/см<sup>2</sup>.  
 При  $i_a > 6$  ма/см<sup>2</sup> потенциал возрастает до значения, отвечающего выделению кислорода ( $\sim 2,2$  в)\*.

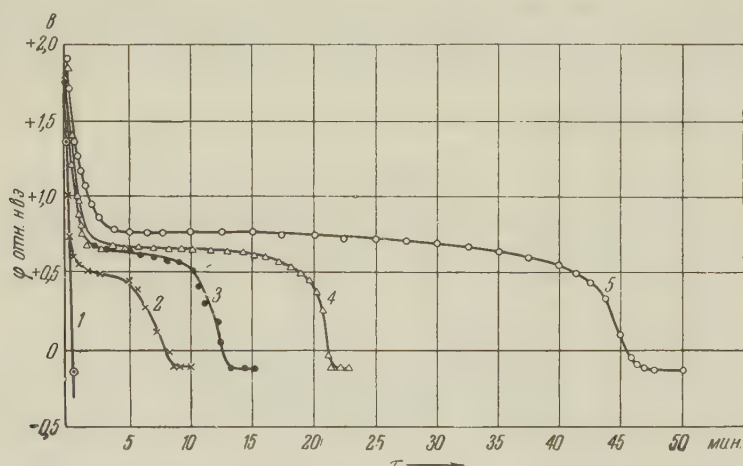


Рис. 2. Кривые изменения потенциала со временем при депассивации свинца в 7,9 N H<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> при  $t = -10^\circ$  после выдержки запассивированного анода при  $i_a = 40$  ма/см<sup>2</sup>: 1 — 1 мин., 2 — 2 мин., 3 — 4 мин., 4 — 6 мин., 5 — 8 мин.

Указанная величина потенциала пассивного свинца близка к значению 0,666 в, приводимому Ландером <sup>(4)</sup> для реакции  $Pb + 2H_2O = PbO_2 + 4H^+ + 4e$ . Принимая эту реакцию для пассивного состояния свинца, мы должны предположить ответственным за пассивацию пористый слой PbO<sub>2</sub> в контакте с чистой свинцовой поверхностью. Отсюда депассивация представляет собой разряд короткозамкнутого гальванического элемента PbO<sub>2</sub> /кислота/ Pb. При этом протекают реакции: анодная —  $Pb + SiF_6^{2-} \rightarrow PbSiF_6 + 2e$  и катодная  $PbO_2 + 2e + SiF_6^{2-} + 4H^+ \rightarrow PbSiF_6 + 2H_2O$ .

Из приведенных результатов наших опытов можно сделать вывод, что с увеличением времени выдержки пассивного анода при постоянной плотности тока ( $i_a > i_{кр}$ ) слой PbO<sub>2</sub> утолщается, возрастает длина и уменьшается диаметр пор, вследствие чего затрудняется диффузия продуктов реакции в порах и возрастает время депассивации (см. рис. 2).

При пропускании анодного тока величиной  $i_a < i_{кр}$  депассивация замедляется, что связано, очевидно, с замедлением катодного процесса восстановления PbO<sub>2</sub>, а также с увеличением омического сопротивления работающего гальванического элемента вследствие увеличения концентрации ионов свинца в порах пассивирующего слоя.

Были проведены также потенциостатические измерения тока при постоянном значении потенциала. Запассивированный свинцовый анод при  $i_a = 40$  ма/см<sup>2</sup> при  $t = -10^\circ$  в 7,9 N H<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> выдерживался при той же плотности тока в течение различного времени (4; 8 и 12 мин.). Затем уменьшением величины  $i_a$  потенциал снижался до  $\sim 0,75$  в и, начиная с этого значения, постепенно повышался при одновременном измерении силы тока при установившихся стационарных условиях. Результаты этих измерений показаны на рис. 3. Из кривых этого рисунка видно, что для поддержания любого стационарного значения потенциала в интервале от 0,8 до 2,2 в предварительно

\* При  $i_a = 6$  ма/см<sup>2</sup> в указанных условиях опыта прежде чем потенциал примет значение, отвечающее выделению кислорода ( $\sim 2,1$  в), на кривой  $\phi(\tau)$  появляется задержка при  $\phi = 1,15$  в. По Ландеру <sup>(4)</sup> система  $PbO + H_2O = PbO_2 + 2H^+ + 2e$  имеет потенциал 1,100 в; можно полагать, поэтому, что перед переходом к потенциалу выделения кислорода при  $i_a > i_{кр}$  металлический свинец в порах покрывается слоем PbO или двухвалентной соли свинца, переходящих вскоре в PbO<sub>2</sub>.

запассивированного анода необходим анодный ток одной и той же величины. При  $\varphi < 0,8$  в ток стремится к уменьшению вследствие депассивации, при  $\varphi > 2,2$  в начинает выделяться кислород и ток с увеличением потенциала резко возрастает. Стационарный ток в интервале потенциалов от 0,8 до 2,2 в, поскольку он предотвращает депассивацию, может быть отождествлен с током коррозии гальванической пары  $\text{PbO}_2 - \text{Pb}$ . Снижение тока коррозии

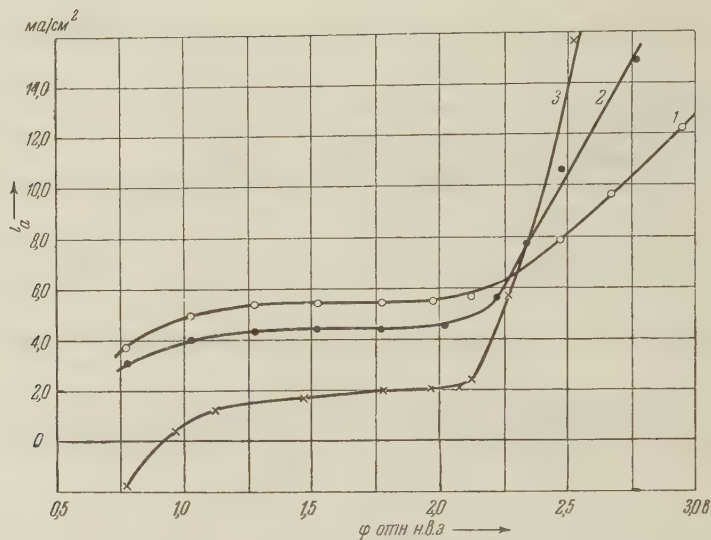


Рис. 3. Зависимость плотности тока от потенциала пассивного свинца в  $7,9 \text{ N H}_2\text{SiF}_6$  при  $t = -10^\circ$ , измеренная потенциостатическим методом при выдержке после запассивирования при  $i_a = 40 \text{ ма/см}^2$ : 1 — 4 мин., 2 — 8 мин., 3 — 12 мин.

с увеличением времени предварительной выдержки пассивного электрода при высокой плотности тока ( $i_a > i_{\text{кр}}$ ) вызывается увеличением толщины пассивирующего слоя и омического сопротивления гальванической пары (см. рис. 3). Постоянство тока коррозии в широком интервале потенциалов также связано, по-видимому, с тем, что увеличение потенциала в указанном выше интервале приводит к соразмерному возрастанию толщины пассивирующего слоя и длины каналов пор.

Пассивация свинца в концентрированной  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  имеет внешнее сходство с пассивацией железа в серной или азотной кислотах, описанной Бонгеффером с сотрудниками (3, 5). Однако, как следует из изложенного, механизм поддержания пассивного состояния свинцового анода и процесс депассивации его имеют иную природу. Различие заключается, в первую очередь, в том, что в случае железа анодный стационарный ток, необходимый для сохранения пассивности, на 3 порядка меньше, чем в случае свинца в  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  и расходует он на образование окиси железа, которая растворяется с постоянной скоростью, а не на подавление работы гальванической пары из пористого слоя двуокиси свинца, кислоты и металлического свинца.

Научно-исследовательский  
элементно-электроугольный институт

Поступило  
28 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> J. P. Schrodtt, W. J. Otting, J. O. Schoeger, D. N. Craig, Trans. Electrochem. Soc., 90, 405 (1946); J. C. White, W. H. Power, R. L. McMartrie, R. T. Rierce, Trans. Electrochem. Soc., 91, 73 (1947); G. W. Vinal, Primary Batteries, N. Y., 1950, p. 282—303; A. B. Garrett, J. Welsh et al., J. Phys. and Coll. Chem., 53, № 4, 505 (1949). <sup>2</sup> U. B. Thomas, Trans. Electrochem. Soc., 94, № 2, 43 (1948). <sup>3</sup> K. Bonhoeffer, U. Franck, Zs. Elektrochem., 55, 80 (1951). <sup>4</sup> J. J. Lander, J. Electrochem. Soc., 103, № 1, 1 (1956). <sup>5</sup> U. F. Franck, K. Weil, Zs. Elektrochem., 56, 814 (1952); А. М. Сухотин, Усп. хим., 25, в. 3, 314 (1956).



Л. В. ХАЙЛЕНКО

# ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РАЗВИТИЯ ДЕФОРМАЦИИ СДВИГА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ГЛИЦЕРИНА, САХАРОЗЫ И КСИЛИТА

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 28 III 1957)

В 1953 г. нами было показано <sup>(1)</sup>, что кривые течения  $\varepsilon = \varphi(\tau, P)$  оводненного глицерина не соответствуют ньютоновской жидкости, а аналогичны реограммам течения растворов высокомолекулярных соединений <sup>(2)</sup>. Наличие эластично-вязкого участка на кривой течения глицерина было подтверждено работой А. Коротковой и Д. Сандомирского, которые в 1955 г. наблюдали этот эффект при исследовании глицерина на эластометре Вейлера — Ребиндера <sup>(3)</sup>.

В связи с неожиданностью полученных результатов, представляло интерес подробно изучить реологические свойства глицерина и его водных растворов в возможно широком интервале концентраций, а также водные растворы гидроксилсодержащих соединений, так как гидроксильная группа может определять существование в растворах указанной аномалии за счет водородной связи. В качестве объектов исследования были взяты водные растворы сахарозы и пятиатомного спирта ксилита.

Эластично-вязкие свойства сухого и оводненного глицерина, а также указанных выше растворов изучались в высокочувствительном эластоскозиметре Шведова, позволяющем экспериментировать в области напряжений сдвига от 0,0002 дин/см<sup>2</sup> и выше <sup>(1, 4)</sup>.

Эксперимент показал, что чистый сухой глицерин при данном режиме деформации ведет себя, как истинная ньютоновская жидкость. Реограммы  $\varepsilon = \varphi(\tau, P)$  графически выражаются прямыми линиями без обратного хода после снятия нагрузки (рис. 1). При разбавлении глицерина водой резко меняются его упруго-вязкие свойства. Уже 95% раствор обладает явно выраженной эластичностью. При дальнейшем разбавлении упруго-вязкие константы растут, достигая максимума в 70%-м растворе.

На рис. 2 представлены кривые  $\varepsilon = \varphi(\tau, P)$ , полученные для 80%-го раствора и типичные для системы глицерин — вода в интервале исследованных концентраций.

Равновесный модуль  $E = \frac{P}{\varepsilon_m}$ , вычисленный из соответствующих кривых  $\varepsilon = \varphi(\tau, P)$  изменяется концентрацией раствора следующим образом:

Концентрация, %	80	70	60
$E$ , дин/см <sup>2</sup>	0,03	300,0	80,0

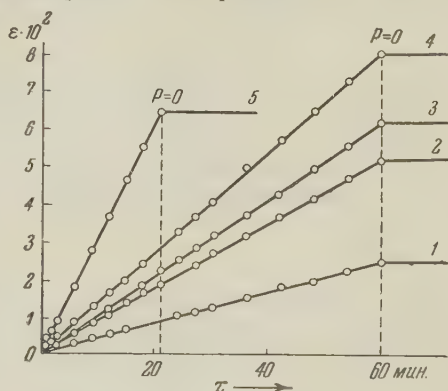


Рис. 1. Зависимость деформации от времени деформации для глицерина 100%-й концентрации. 1 —  $P = 0,0002$ ; 2 —  $P = 0,0004$ ; 3 —  $P = 0,0006$ ; 4 —  $P = 0,0008$ ; 5 —  $P = 0,002$  дин/см<sup>2</sup>.

Реограммы  $\epsilon = \varphi(\tau, P)$  снимались для водного раствора сахарозы концентрации 50% при напряжениях сдвига от  $P = 0,0002$  до  $P = 0,002$  дин/см<sup>2</sup> (см. рис. 3).

Кривые зависимости деформации сдвига от времени деформации, приведенные на рис. 3, показывают, что данный раствор обладает эластичностью, свойственной растворам высокомолекулярных соединений и обнаруженной нами в системе глицерин — вода.

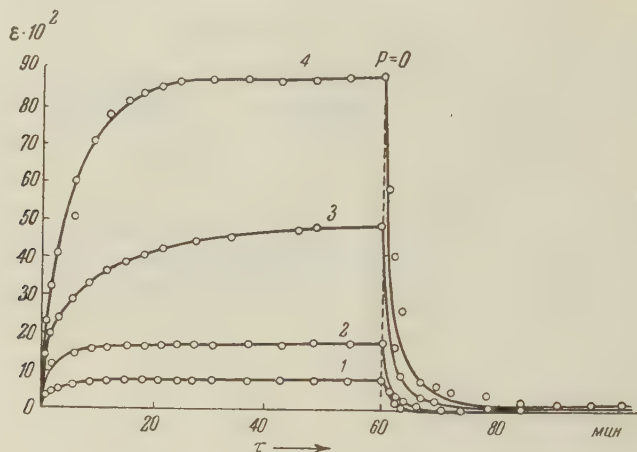


Рис. 2. Зависимость деформации от времени деформации для 80%-го раствора глицерина. 1 —  $P = 0,0021$ ; 2 —  $P = 0,0043$ ; 3 —  $P = 0,0064$ ; 4 —  $P = 0,0085$  дин/см<sup>2</sup>

При нагревании раствора до 100° происходит разрушение сплошной структурной сетки, обуславливающей упруго-эластические свойства системы, с последующим восстановлением при охлаждении раствора до 20°.

Аналогично исследовался 50%-й водный раствор ксилита. Реограммы  $\epsilon = \varphi(\tau, P)$  снимались при различных напряжениях сдвига от  $P = 0,002$  дин/см<sup>2</sup> до  $P = 0,008$  дин/см<sup>2</sup> при температуре 20°.

Во всех случаях получены кривые, аналогичные кривым, полученным для водных растворов глицерина и сахарозы (рис. 4).

Из приведенных данных следует, что:

1. Концентрированные водные растворы глицерина, сахарозы и ксилита не являются истинными ньютоновскими жидкостями, как это считалось до последнего времени, а обладают эластичностью, свойственной растворам высокомолекулярных соединений.

2. Возникновение в исследованных жидкостях механически-жестких и эластически-вязких структур можно объяснить существованием в данных системах водородных связей, образующих длинные квазиполимерные макромолекулы, для которых характерна высокоэластическая временная дефор-

магия, приводящая к понятию о равновесном или предельном модуле упругости

3. Структуры, возникающие в исследуемых жидкостях, тиксотропны, высокоэластичны, с небольшими силами сцепления между элементами структуры. Они, по-видимому, занимают промежуточное положение между коагуляционными и конденсационными структурами, изучаемыми современной коллоидной химией (<sup>5</sup>, <sup>6</sup>).

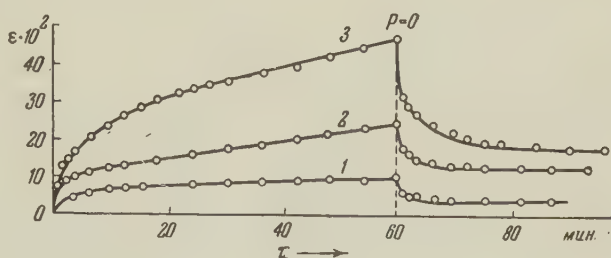


Рис. 4. Зависимость деформации от времени деформации для 50%-го раствора ксилита в воде. 1 —  $P = 0,0021$ ; 2 —  $P = 0,0043$ ; 3 —  $P = 0,0085$  дин/см<sup>2</sup>

4. Применение высокочувствительных методов вискозиметрии, осуществленное нами при помощи вискозиметра Шведова, позволяет изучить очень тонкие свойства межмолекулярного взаимодействия, проявляющиеся в данном случае в существовании механически-жесткого структурного каркаса.

Институт общей и неорганической химии  
Академии наук УССР

Поступило  
14 I 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> И. А. Думанский, Л. В. Хайленко, Колл. журн., 15, 426 (1953).  
<sup>2</sup> А. С. Колбановская, П. А. Ребиндер, Колл. журн., 12, 194 (1950). <sup>3</sup> А. Короткова, Д. Сандомирский, Колл. журн., 17, 264 (1955). <sup>4</sup> Ф. Н. Шведов, J. Phys., 8(2), 341 (1889). <sup>5</sup> P. Reh binder, Disc. Farad. Soc., № 18 (1954); Тр. 3-й Всесоюз. конф. по коллоидной химии, 1957.



Член-корреспондент АН СССР В. Ф. КУПРЕВИЧ и Е. Н. МОИСЕЕВА

## ВНЕКЛЕТОЧНЫЕ ФЕРМЕНТЫ ЛИШАЙНИКОВ

В последние годы лишайники начинают приобретать значение как источник ценных антибиотиков. Следует заметить, что антимикробные вещества лишайников — лишайниковые кислоты — отличаются высокой стойкостью; некоторые из них могут сохраняться без потери своих антимикробных свойств в течение до трех десятков лет<sup>(1)</sup>. Содержание лишайниковых кислот в различных видах лишайников колеблется в зависимости от условий произрастания и связано с физиологической активностью слоевища. Ферментный аппарат лишайников до сего времени остается не исследованным, если не считать случайных наблюдений<sup>(2, 3)</sup>.

Ферменты лишайников изучаются в нашей лаборатории в течение ряда лет. В настоящем сообщении приводятся данные, характеризующие ферментный аппарат семи видов лишайников, произрастающих в различных экологических условиях.

Для исследования использованы лишайники, собранные в Ленинградской области и на Карельском перешейке; испытывались также гербарные образцы, собранные в последние годы. Виды лишайников определялись лихенологами Ботанического института Академии наук СССР — В. П. Савичем и К. А. Рассединой.

Для определения активности ферментов воздушно-сухой лишайник, его слоевище, очищался от посторонних частиц и омертвевших тканей, тщательно промывался под струей водопроводной воды с мыльной пеной, несколько раз промывался вначале дистиллированной водой, затем стерильной дистиллированной водой; стерилизация производилась погружением лишайника на несколько секунд в 1% раствор перекиси водорода или антибиотика. В качестве антибиотика применялся 1% спиртовой раствор натриевой соли урсниновой кислоты (препарат «Бинан»).

Определение активности ферментов производилось в коротких пробирках, 5,5—6 см длиной, 1,2—1,5 см диаметром; пробирки стерилизовались сухим жаром в сушильном шкафу, при температуре 120° в течение одного часа. В каждый опыт бралось по четыре пробирки, из которых две были опытными и две контрольными. В опытные пробирки вносился субстрат (2,5 мл), соответствующий буферный раствор (5 капель), кусочек лишайника (0,05 г) и толуол. Субстраты и буферные растворы предварительно стерилизовались. Одна из контрольных пробирок заполнялась теми же веществами и в тех же количествах, что и опытная, но без слоевища лишайника. Во вторую контрольную пробирку (без субстрата) наливалась стерильная дистиллированная вода (2,5 мл), буферный раствор (5 капель) и вносились кусочки слоевища и толуол. Пробирки взбалтывались и, закрытые пробками, помещались на 16 час. в термостат при температуре 37°. Экспозиция для целлюлазы — 96 час. Активность каталазы и зимазы определялась сразу, после подготовки слоевища, при комнатной температуре (18—20°). Все опыты проводились в двух и более повторностях. Применялись следующие субстраты: 2% растворы сахарозы, аспарагина и мочевины; 1% желатина

Активность внеклеточных ферментов лишайников (опыты 1955—1956 гг., экспозиция 16 час., температура 37°)

Вид, место и время сбора лишайника; субстрат	Амилаза	Инвертаза	Целлюлаза	Лихеназа	Танназа	Липаза	Уреаза	Аспарагиназа	Зимаза	Каталаза	Фенолаза
Usneaceae											
<i>Evernia prunastri</i> (L.) Ach., Ленингр. обл., Леваче, VII 1952 г.; на дубе	$\alpha++$	++	++	++	+	(+)	+	++	++	+	+
То же, Ленингр. обл., Луга, VI 1954 г., на черемухе	$\alpha++$	++	+	(+)	(+)	—	—	++	+	++	(+)
То же, Ленингр. обл., Луга, VI 1954 г.; на липе	$\alpha++$	++	++	++	+	+	++	++	+	+	—
То же, Краснодарск. край, Майкоп, X 1955 г.; на дубе	$\alpha++$	++	++	++	++	+	++	++	++	++	+
<i>Evernia furfuracea</i> (L.) Mann., Ленингр. обл., Луга, VI 1954 г.; на березе	$\beta+$	++	+	++	(+)	++	++	++	+	++	+
То же, Ленингр. обл., Луга, VI 1954 г., на сосне	$\beta+$	++	++	+	(+)	+	++	+	+	++	(+)
Parmeliaceae											
<i>Parmelia physodes</i> (L.) Ach., Карельск. пер., Рощино, III 1956 г.; на березе	$\beta++$	+	+	++	?	(+)	++	++	++	+	+
То же, Карельск. пер., III 1956 г.; на сосне	$\beta(+)$	++	++	+	(+)	+	+	++	++	+	+
<i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach., Ленингр. обл., Луга, VI 1954 г.;	$\beta++$	++	++	++	(+)	(+)	+	+	++	++	++
Cladoniaceae											
<i>Cladonia deformis</i> Hoffm., Ленингр. обл., Луга, VI 1954 г.; на почве	$\beta++$	++	+	+	(+)	++	++	++	++	+	++
<i>Cladonia sylvatica</i> (L.) Hoffm., Ленингр. обл., Луга, VI 1954 г.; на почве	$\beta++$	++	+	+	(+)	(+)	++	++	++	+	(+)
Umbilicariaceae											
<i>Umbilicaria pustulata</i> (L.) Hoffm., Ленингр. обл., Приозерск. район, VII 1954 г., на граните	$\alpha+\beta$	++	—	++	+	—	++	(+)	+	++	(+)

Примечание. Знак — отсутствие действия на субстрат, знак (+) следы действия фермента на субстрат, знак + явное действие фермента на субстрат, знак ++ высокая активность фермента (субстрат переработан полностью), знаки  $\alpha$  и  $\beta$  обозначают  $\alpha$ - и  $\beta$ -амилазу.

и лишенин; 0,5% фенол; 0,1% растворимый крахмал; 0,05% тирозин; 1% и 3% перекись водорода и 0,5% спиртовой раствор эверновой кислоты. Для целлюлазы в качестве субстрата брались вязкозная пряжа и целлофан. Субстратом для липазы были сливки и очищенное подсолнечное масло.

Индикаторами служили: раствор йода в йодистом калии; 1% спиртовые растворы нингидрина, розоловой кислоты и гваяковой смолы; 0,5% бромтимолблау; метиленовая синь (1:10 000); 1% хлорное железо для танназы (темно-фиолетовое окрашивание показывало переход эверновой кислоты в эверниновую). Наличие активности инвертазы устанавливалось добавлением жидкости Фелинга (образование закисы меди свидетельствовало об активности фермента).

В целях проверки стерильности опытные кусочки слоевища лишайника помещались в полужидкий мясо-пептонный агар (МПА), налитый в чашки

Петри, и ставились в термостат при 37°. Через сутки в чашках не наблюдалось возникновения бактериальных колоний и грибов. Через 2 суток в этих же чашках обычно появлялись немногочисленные нити мицелия грибов; рост последних зависел от видового состава испытуемых лишайников, так как некоторые виды лишайников задерживали развитие грибов в чашках.

Возможно, что развитию бактерий препятствовали лишайниковые кислоты, отличающиеся антимикробными свойствами.

Результаты определений активности ферментов приведены в табл. 1. На рис. 1 показано действие слоевища лишайника на 1% раствор крахмала в желатине (опыт Е. Н. Моисеевой); как видно на фотографии, вокруг слоевища на значительной площади реакция на крахмал отсутствует в результате действия амилазы лишайника.

Помимо указанных в табл. 1 ферментов, определялась также активность протеаз, оксидазы, пероксидазы и тирозиназы. Активность этих ферментов не обнаруживалась, либо проявлялась весьма слабо. Отсутствие реакции на оксидазу и пероксидазу понятно, — эти ферменты для проявления их действия обычно требуют разрушения кле-

Рис. 1. Лишайник *Cladonia deformis*, помещенный в чашку Петри на агар с добавлением 0,1% раствора крахмала; экспозиция 4 часа, температура 40°. После добавления в чашку раствора йода в йодистом калии реакция на крахмал вокруг слоевища (светлая зона) отсутствует в результате действия амилазы лишайника

ток. Неожиданным явилось отсутствие протеаз; с помощью раствора нингидрина наличие аминокислот не улавливалось. Однако желатина в опытных пробирках с кусочками слоевища заметно разжижалась. В этом случае метод, основанный на реакции аминокислот с нингидрином, для исследования активности протеаз не подходит.

Широкий набор внеклеточных ферментов, аналогичный таковому у сапрофитных грибов, указывает на возможность активного воздействия слоевища лишайника на субстрат. Подтверждение этого можно видеть на рис. 1. Существующее представление о чисто автотрофном питании лишайников не соответствует действительности. Несомненно, лишайники, подобно настоящим сапрофитам, активно воздействуют на субстрат и извлекают из него не только воду. Произрастающие на почве, а также эпифитные и особенно эпифильные лишайники могут и должны извлекать из субстрата ряд органических веществ в качестве источника питания. Активная роль внеклеточных ферментов в питании лишайников подтверждается также специализацией ферментного аппарата в зависимости от субстрата. Как показывают результаты исследования (табл. 1), все лишайники, поселяющиеся на деревьях и почве, располагают более или менее активной целлюлазой. Исключение представляет *Umbilicaria pustulata*, собранный на граните; у него целлюлаза отсутствует. Влияние субстрата на ферментный аппарат можно видеть также на примере *Parmelia physodes*. Слоевища этого лишайника, собранные на березе и сосне, различаются по активности амилазы, что отвечает особенностям распространения крахмала в условиях лиственного и хвойного леса. Широкое распространение амилазы, инвертазы, лихе-



назы и некоторых других ферментов у лишайников нельзя объяснить только явлениями наследственности. Наличие этих ферментов указывает на соответственно широкое распространение крахмала, сахарозы и других субстратов в местах обитания.

Ботанический институт им. В. Л. Комарова  
Академии наук СССР

Поступило  
9 IV 1957

#### ЦИТИРОВАНИЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> В. Ф. Купревич, М. А. Литвинов, Е. Н. Моисеева, К. А. Рассадина, В. П. Савич Тр. Бот. инст. АН СССР, сер. 2, в. 8 (1953). <sup>2</sup> К. Оппенгеймер, Р. Кун, Ферменты, 1932. <sup>3</sup> C. Bordouil, C. R., 218, 475 (1944).

М. В. ТУРКИНА

## К ВОПРОСУ О ПЕРВЫХ УГЛЕВОДАХ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ФОТОСИНТЕЗА

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 4 V 1957)

Впервые образование на ранних стадиях фотосинтеза сахарозы в качестве одного из первых углеводов наблюдали Кальвин и Бенсон у одноклеточной водоросли *Scenedesmus* <sup>(1)</sup>.

Позднее Курсановым и Туркиной <sup>(2)</sup> было показано, что в течение 5 мин. фотосинтеза в атмосфере  $C^{14}O_2$  у сахарной свеклы основная радиоактивность сосредоточивается также в сахарозе. Это дало авторам основание высказать предположение, что сахароза является первым свободным нефосфорилированным сахаром, возникающим в процессе фотосинтеза у сахарной свеклы. С тех пор появилось несколько работ как за рубежом <sup>(4)</sup>, так и у нас <sup>(3, 5)</sup>, в которых также было показано преобладающее образование сахарозы в первые минуты фотосинтеза и у других растений.

Вместе с тем можно ожидать, что в зависимости от характера углеводного обмена того или иного растения непосредственно образующиеся при фотосинтезе свободные сахара окажутся различными. Поэтому в настоящей работе мы поставили перед собой задачу проследить образование первых свободных, т. е. нефосфорилированных, углеводов в процессе фотосинтеза у растений с различными типами углеводного обмена.

Для опытов были выбраны следующие растения: 1) сахарная свекла — сахарозонакопитель, 2) топинамбур — инулинонакопитель, 3) табак — крахмалонакопитель, 4) лук — монозонакопитель, 5) седум — способный к накоплению гептозы.

Листья вышеуказанных растений выдерживались в течение 5 мин. в камере, содержащей 0,3% углекислоты, незначительная часть которой была помечена  $C^{14}$ . Фиксация и экстракция производились кипящим 80% этиловым спиртом. Полученные экстракты сахаров очищались от органических кислот и аминокислот с помощью ионообменных смол (катионит КУ-2, анионит ПЭ-9).

Очищенные таким образом растворы сахаров наносились на бумагу для хроматографирования. Растворителем служила смесь *n*-бутанол — вода — уксусная кислота в соотношении 4 : 5 : 1; в качестве проявителя для кетоз использовался резорцин-фосфат, а для альдоз анилин-фталат <sup>(6)</sup>. Отдельные сахара после их элюции с хроматограммы частично шли на определение радиоактивности, а часть бралась на определение их количественного содержания с антроном <sup>(7)</sup>.

У всех изученных растений учитывалась также радиоактивность и общее содержание крахмала.

Содержание углеводов в листьях изученных растений представлено на табл. 1, из которой видно, что листья таких растений, как табак, топинамбур и седум, накапливают в основном крахмал. Напротив, лук вообще не содержит крахмала, а накапливает в основном монозы и олигосахариды. В седуме в составе моноз была обнаружена гептоза, которая имела одинаковое значение  $R_F$  с глюкозой, но в отличие от нее давала голубовато-зеле-

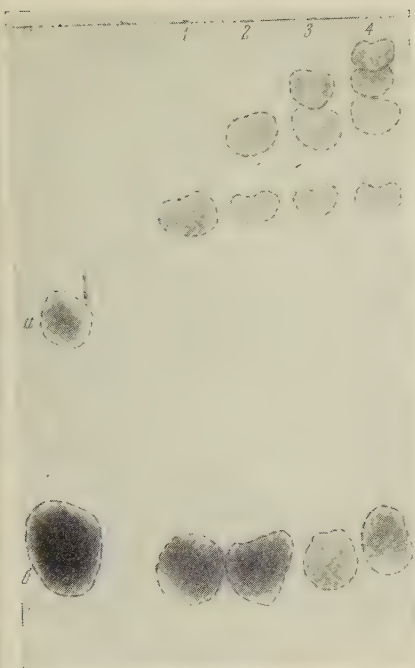


Рис. 3

Рис. 3. Частичный гидролиз олигосахаридов листьев лука инвертазой\* (pH 5,0; 37°; 15 мин.) *а* — сахароза, *б* — фруктоза

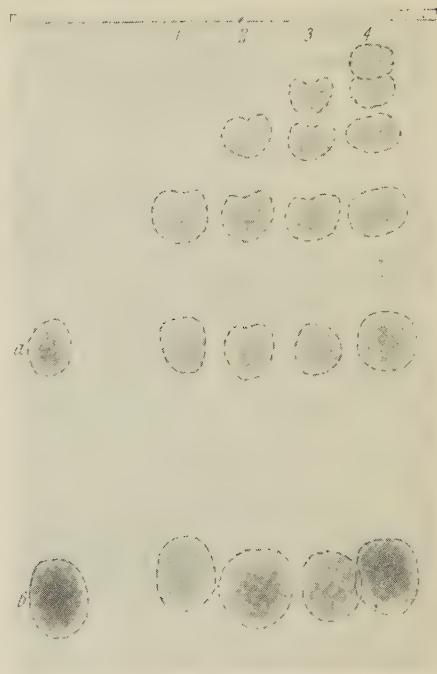


Рис. 4

Рис. 4. Частичный гидролиз олигосахаридов листьев лука (0,25 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 70°; 90 сек.): *а* — сахароза, *б* — фруктоза

\* Хроматограмма проявлена на кетозные сахара, поэтому глюкоза не проявилась.





ное окрашивание с орцином <sup>(8)</sup>. Количественное определение глюкозы и гептозы производилось совместно.

Определение радиоактивности отдельных сахаров показало, что у всех изученных растений, независимо от типа их углеводного обмена и от содер-

Таблица 1

Содержание углеводов в листьях различных растений  
(в мг на 1 г свежего веса)

Растения	Монозы		Сахароза	Олиго-сахариды	Крахмал
	глюко-за	фрук-тоза			
Лук	8,5	5,4	3,7	16,2	0
Сахарная свекла	2,1	3,4	2,3	0	2,0
Топинамбур	1,1	1,2	2,2	Следы	6,8
Табак	1,15	1,5	1,7	0	16,3
Седум	0,3	0,3	0,4	0	4,5

жания сахаров в листе, в течение 5 мин. фотосинтеза в атмосфере  $C^{14}O_2$  главная масса радиоактивного углерода, приходящаяся на растворимые углеводы, сосредоточена в сахарозе. Данные этих анализов сведены в табл. 2.

Таблица 2

Распределение радиоактивности в углеводах листьев различных растений. Экспозиция в атмосфере  $C^{14}O_2$ — 5 мин. (в имп/мин на 1г свежего веса)

Растения	Глюкоза	Фруктоза	Сахароза	Олигоса-хариды	Крахмал
Лук	419	316	42003	464	—
Сахарная свекла	4895	5441	34706	—	16765
Топинамбур	4735	5510	60632	988	30106
Табак	2910	536	13119	—	16873
Седум	444	656	6701	—	14886
	(Гептоза 120)				

Высокая радиоактивность сахарозы у всех изученных растений может быть продемонстрирована и на радиоавтографах, полученных с хроматограмм сахаров в вышеуказанных опытах (рис. 1). Как видно из рис. 1 на радиоавтографах 1—4 имеется только одно пятно, соответствующее положению сахарозы на хроматограмме, в то время как другие сахара в силу слабой радиоактивности при данной экспозиции не проявились.

Особенно обращает на себя внимание радиоавтограф, сделанный с хроматограммы сахаров лука, где также имеется только одно пятно, соответствующее сахарозе, хотя в количественном отношении ее содержание значительно ниже содержания других сахаров (см. рис. 2 и табл. 1).

Проведенные опыты дают основание к выводу, что у широкого круга растений, отличных по своему углеводному составу, на ранних стадиях фотосинтеза углеводы возникают преимущественно в форме сахарозы.

Впрочем, если вновь обратиться к табл. 2, можно видеть, что у растений, склонных к крахмалообразованию, значительная радиоактивность обнаруживается в крахмале, что отмечалось и в литературе <sup>(9)</sup>. По-видимому, преимущественное образование крахмала или сахарозы в процессе фотосинтеза зависит в растений от относительных скоростей тех энзиматических реакций, которые осуществляют превращение гексозофосфатов в сахарозу или в крахмал. При этом, судя по нашим данным, даже у такого растения, как

табак, где крахмала раз в 5 больше, вместе взятых сахаров (см. табл. 1), скорость поступления  $C^{14}$  в сахарозу и в крахмал одинакова (см. табл. 2).

Следя за образованием моноз в процессе фотосинтеза, мы обнаружили, что за 5 мин. в атмосфере  $C^{14}O_2$  они

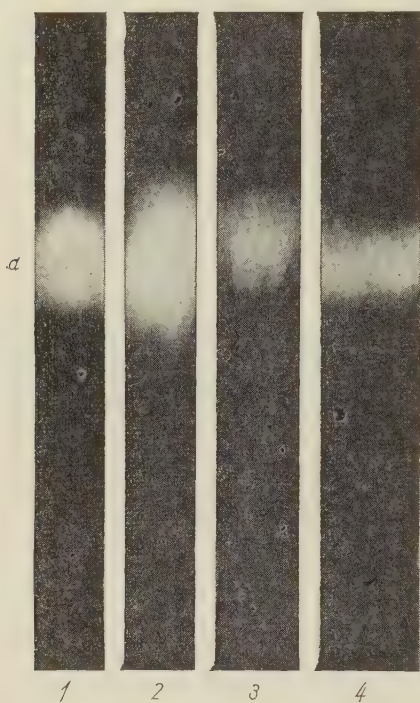


Рис. 1

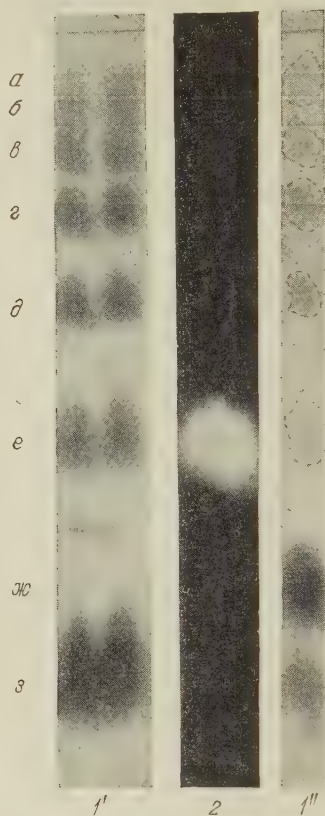


Рис. 2

Рис. 1. Радиоавтографы хроматограмм сахаров листьев некоторых растений: 1 — сахарная свекла, 2 — топинамбур, 3 — табак, 4 — седум; а — сахароза

Рис. 2. Хроматограмма (1) и радиоавтограф хроматограммы сахаров лука (2). 1 — проявитель резорцин-фосфат, 1'' — анилин-фталат; а — д — олигосахариды, е — сахароза, ж — глюкоза, з — фруктоза

также оказываются помеченными, однако радиоактивность их в 100 и даже в 1000 раз слабее радиоактивности сахарозы (см. табл. 2).

Как уже указывалось выше, в листьях седума была обнаружена гептоза. Удаление из раствора всех сахаров, кроме гептозы, с помощью дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* (паса 12) позволило нам определить радиоактивность и этого сахара, которая оказалась очень невысокой (см. табл. 2).

Слабая радиоактивность моноз позволяет предположить, что если прямое дефосфорилирование продуктов фотосинтеза и имеет место, то оно протекает весьма медленно, и поэтому более вероятно, что основной путь образования моноз носит вторичный характер и происходит под влиянием гидролитического расщепления сахарозы и крахмала.

Для того чтобы выяснить происхождение моноз, мы применили выдерживание листьев лука, кратковременно подкормленных  $C^{14}O_2$ , на свету в атмосфере обычной  $C^{12}O_2$ , в течение 60 мин., желая этим путем проследить за превращениями меченой сахарозы. Результаты одного из опытов приведены в табл. 3.

Данные этой таблицы показывают, что после дополнительного выдерживания листьев в атмосфере обычной  $CO_2$  — содержание меченой сахарозы снизилось, в то время как содержание меченых моноз увеличилось в 2—4

аза. Последнее всего вероятнее является результатом гидролитического расщепления сахарозы.

Весьма существенно также и то, что за этот же промежуток времени повышается радиоактивность не только моноз, но и олигосахаридов. Это побудило нас остановиться несколько подробнее на изучении глюкофруктозанов, образование которых в настоящее время связывается с превращением сахарозы ( $10^{-14}$ ).

Проведение частичного гидролиза 1—4 олигосахаридов лука инвертазой позволило обнаружить промежуточные стадии распада, которые проходят от более сложных глюкофруктозанов через простые к фруктозе, и небольшому количеству глюкозы (рис. 3).

Тем не менее на хроматограмме сахарозы при инвертазном гидролизе обнаружить не удалось. Зная, что инвертаза значительно быстрее расщепляет глюкозидо-фруктозидные связи, чем эфирные связи между остатками фруктозы, можно было предположить, что отсутствие сахарозы на хроматограмме объясняется ее более быстрым расщеплением инвертазой по сравнению с остальными промежуточными продуктами. Действительно, аналогичные опыты по частичному гидролизу 1—4 олигосахаридов лука, проведенному с помощью  $0,25\text{ N H}_2\text{SO}_4$ , позволили обнаружить среди других промежуточных продуктов и сахарозу (рис. 4).

Это указывает на то, что сахароза действительно участвует в построении олигосахаридов, о чем также, по-видимому, свидетельствует и перемещение радиоактивности из сахарозы не только в монозы, но и в олигосахариды, (табл. 3).

Все это позволяет считать, что основной путь образования моноз и олигосахаридов в растении носит вторичный характер и что особенности углеводного состава у разных видов растений начинают формироваться главным образом после образования в процессе фотосинтеза сахарозы и на ее основе.

Настоящая работа выполнена по предложению академика А. Л. Курсанова, которому автор приносит свою глубокую благодарность за ценные советы и указания.

Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева  
Академия наук СССР

Поступило  
3 V 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> М. Calvin, A. Benson, Science, **109**, 140 (1949).
- <sup>2</sup> А. Л. Курсанов, М. В. Туркина, ДАН, **95**, 885 (1954).
- <sup>3</sup> Л. А. Незговорова, Физиол. раст., **3**, 497 (1956).
- <sup>4</sup> L. Norris, R. E. Norris, M. Calvin, J. Exp. Bot., **6**, 64 (1955).
- <sup>5</sup> Л. А. Филиппова, Дневные и сезонные изменения интенсивности и состава продуктов фотосинтеза у растений Восточного Памира, Автореферат кандидатской диссертации, 1955.
- <sup>6</sup> R. Peach, M. V. Tracey, Moderne Methoden der Pflanzenanalyse, **1**, 1956.
- <sup>7</sup> О. А. Павлинова, Физиол. раст., **4**, 93 (1957).
- <sup>8</sup> R. Klevstrand, A. Nordal, Acta Chem. Scand., **4**, 1920 (1950).
- <sup>9</sup> P. V. Vitto, I. Krotkov, G. B. Reed, Science, **119**, № 3104, 906 (1954).
- <sup>10</sup> I. S. D. Bacon, E. delman, Arch. Biochem., **28**, 467 (1950).
- <sup>11</sup> K. Dedonder, Bull. Soc. Chim. Biol., **34**, 171 (1952).
- <sup>12</sup> А. И. Опарин, М. С. Бардинская, ДАН, **89**, 531 (1953); **4**, 305 (1954).
- <sup>13</sup> А. И. Опарин, М. С. Бардинская, К. Б. Пятикрестовская, ДАН, **104**, 886 (1955).
- <sup>14</sup> О. А. Павлинова, А. Л. Курсанов, Физиол. раст., **3**, 539 (1956).



К. П. АЗАРОВ и В. В. БАЛАНДИНА

## РАСТВОРИМОСТЬ ОКИСЛОВ ЖЕЛЕЗА В БОРНЫХ И БЕЗБОРНЫХ СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВАХ

(Представлено академиком Н. В. Беловым 4 IV 1957)

Многие процессы технологии силикатов (производство специальных и цветных стекол, огнеупоров, цемента и др.) сопровождаются растворением окислов железа в расплавах. Способность силикатных расплавов растворять окислы железа имеет особое значение в технологии эмалирования стали и чугуна, поскольку успех эмалирования определяется процессами взаимодействия эмалевого (грунтового) расплава с окисленным металлом (окалиной). С этим вопросом связана также проблема безборных грунтовых эмалей. Однако имеющиеся данные о растворимости окислов железа в грунтовых эмалях<sup>(1-4)</sup> противоречивы и не могут служить для надежного суждения о роли окислов железа и, в частности, о связи между растворимостью их и содержанием в расплаве борного ангидрида.

В связи с этим были проведены исследования, имеющие целью: 1) определить растворимость окиси железа в типичных промышленных грунтовых эмалях: безборных №№ 356/б и 276/б\*, борных №№ 416, 210б, 186 и титановой № 121 Ti и 2) сопоставить полученные результаты с технологическими показателями соответствующих грунтовых покрытий.

Растворимость окислов железа определена по методу, использованному Андрусом и Свифтом<sup>(2)</sup> и основанному на данных о линейном изменении показателя преломления стекла при растворении окиси железа<sup>(5)</sup>. Пределы растворимости установлены по концентрации окислов железа, соответствующей достижению максимального постоянного показателя преломления.

Эмали предварительно сплавлялись с окисью железа при 850° в течение 10 час. и при 950° 4 часа — до достижения равновесного состояния и затем быстро охлаждались в воде. Показатели преломления определяли по методу Бекке под поляризационным микроскопом МП-3 при увеличениях 64× и 100×. Точки перегиба на кривых изменения показателей преломления отвечают пределам растворимости окислов железа.

Как видно на рис. 1, наибольшая растворимость окислов железа (до 21,0—23,3%) соответствует борным грунтовым эмалям №№ 416, 210б и 186. Растворимость в безборных эмалях №№ 27 б/б и 35 б/б оказалась в два-три раза меньше, чем в борных. Титановая грунтовая эмаль № 121 Ti растворяет больше окислов железа, чем безборные эмали, но уступает в этом отношении борным. Те же эмали, сплавленные со сцепляющими окислами, были подвергнуты технологическим испытаниям с последующей визуальной оценкой качества грунтовых покрытий в баллах (по количеству образовавшихся вскипаний и выгораний). Нановысшие оценки качества грунтовых покрытий отвечают наиболее высоким значениям предела растворимости окиси железа, а именно:

\* Составы по В. П. Ваулину

Безборные		Титановая	Борные		
№ 356/6	№ 276/6	№ 121 Ti	№ 416	№ 2106	№ 186
3,0	2,0	3,5	4,5	4,5	5,0

Вследствие пониженной растворимости безборные эмали легко насыщаются окислами железа. При этом последние образуют коллоидные растворы и суспензии, что приводит к резкому увеличению вязкости расплава\*.

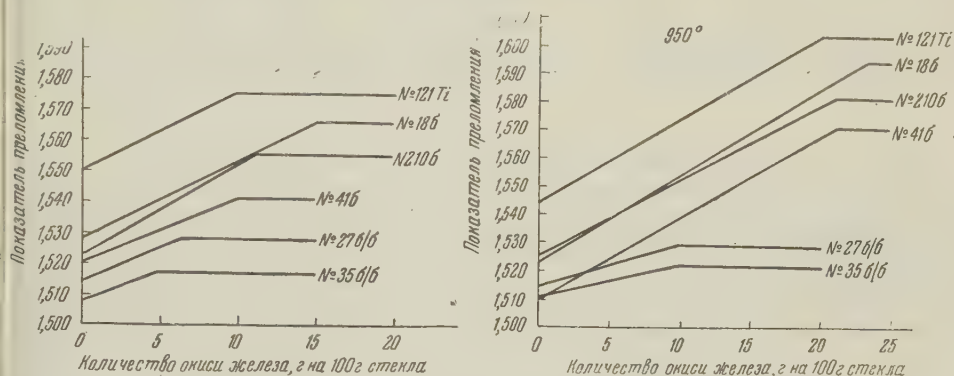


Рис. 1. Зависимость показателей преломления грунтовых эмалей от содержания окиси железа. При 850° и при 950°

Во время обжига безборного грунтового покрытия на стали внутренний, прилегающий к окисленному металлу слой эмали быстро насыщается окислами железа. Повышение вязкости расплава в этом слое в первых стадиях обжига препятствует свободному выходу газов, выделяющихся из стали, а также за счет реакции окалин с углеродом стали, и способствует образованию вскипаний и выгораний.

Более низкая растворимость окислов железа в безборных эмалях может быть связана: а) с высоким поверхностным натяжением безборных расплавов, затрудняющим смачивание окислов железа и растворение последних (6, 7), б) резким повышением вязкости безборных эмалей, обусловленным структурными преобразованиями различных форм железа (8), в) значительной основностью безборных расплавов (9), благоприятной для образования стеклообразующих групп  $\text{FeO}_4$ , упрочняющих структуру стекла.

Новочеркасский политехнический институт  
им. С. Орджоникидзе

Поступило  
1 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> A. Dietzel, L. Arnold, Sprechsaal, 75, 168 (1942). <sup>2</sup> A. I. Andrews, H. R. Swift, J. Am. Ceram. Soc., 27, № 2, 46 (1944). <sup>3</sup> W. Kerstan, Sprechsaal, 77, 55, 72 (1944). <sup>4</sup> A. Petzold, Email, Berlin, 1955. <sup>5</sup> P. Gilard, L. Dubrul, J. Soc. Glass Techn., 21, № 88, 485 (1937). <sup>6</sup> К. П. Азаров, Огнеупоры, № 12, 551 (1950). <sup>7</sup> К. П. Азаров, ЖПХ, 28, № 1, 33 (1954). <sup>8</sup> A b d-E l-M oneim, A b o u-E l-A z m, J. Soc. Glass Techn., 38, № 181, 101, 146 (1954). <sup>9</sup> К. П. Азаров, Тр. Совещ. по строению стекла, Изд. АН СССР, 1955, стр. 276—278.

\* Факт увеличения вязкости в области размягчения безборных эмалей в связи с растворением окислов железа установлен в другой работе, выполненной при участии С. Б. Гречановой.

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Академик АН БССР М. А. БЕЗБОРОДОВ и И. С. КАЧАН

**ВЛИЯНИЕ ЦИРКОНИЯ И ТИТАНА НА НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА  
СИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ**

В литературе последнего времени отмечается особый интерес к стеклам, содержащим титан и цирконий. Каждый из них сообщает стеклу характерные свойства: устойчивость против кристаллизации, против химических реагентов, повышение светопреломления и т. д. Однако влияние этих элементов неодинаково в различных случаях и зависит от состава стеклообразной системы и количественного содержания в ней этих элементов. Изучение отдельных стеклообразных систем позволило установить поведение в них циркония или титана и влияние их на свойства стекол (<sup>1-12</sup>). Поведение титана и циркония изучалось отдельно. В настоящей статье изложена экспериментальная работа, выполненная в лаборатории стекла и силикатов Белорусского политехнического института и посвященная изучению роли циркония и титана, введенных совместно в состав силикатных стекол.

Предполагалось, что введение циркония в некоторые титано-силикатные стекла позволит понизить их кристаллизационную способность без существенного изменения светопреломления (<sup>10</sup>).

Изучение велось на следующих четырех сериях стекол;

- |         |  |
|---------|--|
| I серия | $45\text{SiO}_2 \cdot (30 - x) \text{TiO}_2 \cdot x \text{ZrO}_2 \cdot 10\text{CaO} \cdot 15\text{Na}_2\text{O}$ |
| II »    | $50\text{SiO}_2 \cdot (25 - x) \text{TiO}_2 \cdot x \text{ZrO}_2 \cdot 10\text{CaO} \cdot 15\text{Na}_2\text{O}$ |
| III »   | $55\text{SiO}_2 \cdot (20 - x) \text{TiO}_2 \cdot x \text{ZrO}_2 \cdot 10\text{CaO} \cdot 15\text{Na}_2\text{O}$ |
| IV »    | $60\text{SiO}_2 \cdot (15 - x) \text{TiO}_2 \cdot x \text{ZrO}_2 \cdot 10\text{CaO} \cdot 15\text{Na}_2\text{O}$ |

Замещение двуокиси титана двуокисью циркония производилось в весовом отношении через 1% до полного замещения. Всего было синтезировано 94 состава, из которых только 66 удалось получить в стеклообразном состоянии. Варка опытных стекол велась в силиковой печи в неглазурованных фарфоровых тиглях емкостью по 300 г готового расплава. Максимальная температура 1350° выдерживалась в течение 1,5 часа. Синтез опытных стекол показал, что при упомянутых условиях эксперимента возможно получить в стеклообразном состоянии составы, содержащие от 1 до 17% двуокиси циркония.

Кристаллизационная способность стекол определялась при нагревании их до температур 700, 800, 900, 1000 и 1100° с выдержкой при этих температурах в течение 2,4 и 6 час. Оценка кристаллизационной способности производилась по шкале К. Г. Куманина и Е. Я. Мухина (<sup>13, 14</sup>). Об отношении опытных стекол к кристаллизации можно составить представление по диаграммам рис. 1—4.

Кристаллизационная способность постепенно понижается при уменьшении в стеклах двуокиси титана и увеличения кремнезема и постоянном содержании других компонентов ( $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{Na}_2\text{O}$ ).

При сравнении стекол разных серий, имеющих одинаковое содержание двуокиси циркония, оказывается, что кристаллизационная способность



тем больше, чем больше в них двуокиси титана и меньше кремнезема, т. е. при равных количествах двуокиси циркония склонность к кристаллизации растет с увеличением двуокиси титана за счет уменьшения кремнезема.

Наименьшую кристаллизационную способность во всех четырех сериях имеют стекла, содержащие средние количества двуокиси циркония (приблизительно при 7—10%  $ZrO_2$ ). Замена титана циркония в каждой серии сначала понижает кристаллизационную способность, а затем снова ее повышает. Подобно тому, как наблюдалось в работе <sup>(10)</sup> на титано-силикатных стеклах, здесь можно также высказать догадку, что по правилу К. Г. Куманина средние составы располагаются вдоль или поблизости от пограничной линии в системе  $SiO_2 - TiO_2 - ZrO_2 - CaO - Na_2O$  в этой области пятикомпонентной системы находятся составы с наиболее устойчивым стеклообразным состоянием.

При постоянном содержании  $CaO$  и  $Na_2O$  наибольшая устойчивость стеклообразного состояния в системе  $Si - Ti - Zr - Ca - Na$  наблюдается при  $SiO_2 \geq 60\%$ ; лучшие стекла принадлежат к IV серии; у них отношение  $O : Si > 3$  (для стекла № 1 2,8, для № 16 2,68) <sup>(11)</sup>.

Химическая устойчивость опытных стекол определялась по отношению к трем реагентам: воде, 0,1 N раствору  $Na_2CO_3$  и 20,24% раствору  $HCl$ . Навеска стеклянного порошка с размерами зерен от 0,25 до 0,50 мм в количестве 10 г кипятилась в 100 мл соответствующего реагента в течение 5 час. Химическая устойчивость выражалась в процентах потери веса порошка стекла после обработки по отношению к начальному весу. Результаты приведены на рис. 1—4.

Водоустойчивость мало изменялась с составом стекла; потеря веса находилась в пределах от 0,10% до 0,03%. Таким образом, взаимозамена  $SiO_2$ ,  $TiO_2$  и  $ZrO_2$  и стекла (при постоянном содержании  $CaO$  и  $Na_2O$ ) не влияет заметно на устойчивость их против воды.

Содоустойчивость при переходе от I к IV серии понижается постепенно: замена двуокиси титана в стеклах кремнеземом (при одинаковом содержании  $ZrO_2$ ) ведет к понижению устойчивости стекол против раствора соды. Напротив, при замене двуокиси титана в стеклах двуокисью циркония (при неизменном содержании  $SiO_2$ ) содоустойчивость стекол постепенно возрастает. Таким образом содоустойчивость опытных стекол увеличивается при взаимной замене компонентов в следующем порядке:

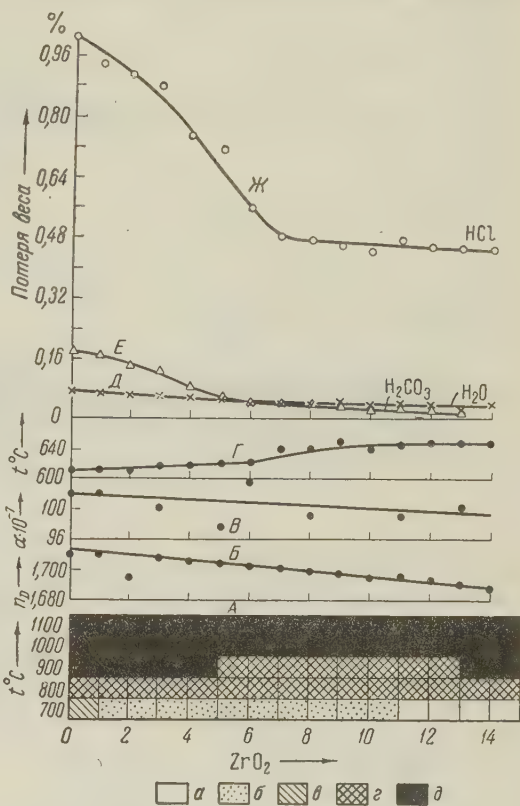


Рис. 1. Зависимость свойств силикатных стекол от состава. Серия I. А — кристаллизация (выдержка 6 час.): а — стекло не закристаллизовалось, б — начало кристаллизации, в — кристаллическая пленка, г — кристаллическая корка, д — полная кристаллизация; Б — светопреломление, В — коэффициент линейного расширения; Г — температура размягчения; Д — водоустойчивость; Е — содоустойчивость; Ж — кислотоустойчивость



$\text{SiO}_2 \rightarrow \text{TiO}_2 \rightarrow \text{ZrO}_2$  (при неизменных  $\text{CaO}$  и  $\text{Na}_2\text{O}$ ). Наиболее содоустойчивы стекла I серии, наименее — стекла IV серии.

Кислотоустойчивость стекол, напротив, при переходе от I к IV серии постепенно повышается: замена двуокиси титана в стеклах кремнеземом (при постоянном содержании  $\text{ZrO}_2$ ) ведет к повышению устойчивости стекол против раствора соляной кислоты. Увеличение в стеклах  $\text{ZrO}_2$  и соответствующее уменьшение в них  $\text{TiO}_2$  (при постоянном  $\text{SiO}_2$ ) повышает кислотоустойчивость опытных стекол.

Здесь устойчивость стекол против химического реагента возрастает при последовательной взаимной замене  $\text{TiO}_2 \rightarrow \text{SiO}_2 \rightarrow \text{ZrO}_2$ . В общем во всех четырех сериях наиболее устойчивыми против

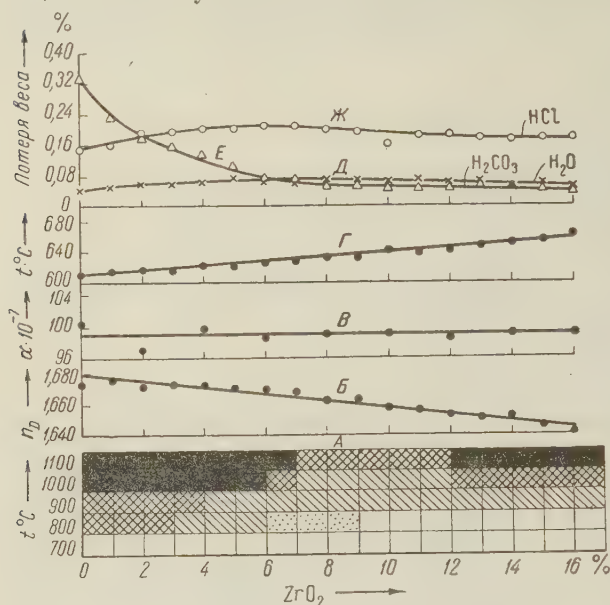


Рис. 2. Зависимость свойств силикатных стекол от состава. Серия II. Обозначения те же

всех реагентов оказываются стекла, находящиеся в конце каждого ряда, т. е. содержащие наибольшее количество  $\text{ZrO}_2$  (15 — 16%).

Обращает на себя внимание некоторая закономерность в поведении стекол против растворов соды и кислоты в зависимости от состава.

На кривых содоустойчивости и кислотоустойчивости наблюдается заметный перелом, отвечающий среднему содержанию  $\text{ZrO}_2$  в стеклах (около 7%); здесь резко увеличивается устойчивость одних стекол (серия I) против кислоты и других стекол (серия IV) против соды. Следовало бы поставить это наблюдение в связь с предположением о нахождении данных составов на границах «областей» устойчивости в диаграмме состояния системы  $\text{Si-Ti-Zr-Ca-Na}$ . М. А. Безбородов и И. И. Кисель<sup>(10)</sup> наблюдали заметный максимум на кривой кислотоустойчивости в системе  $\text{Si-Ti-Ca-Na}$  также у составов, лежащих на подобной линии.

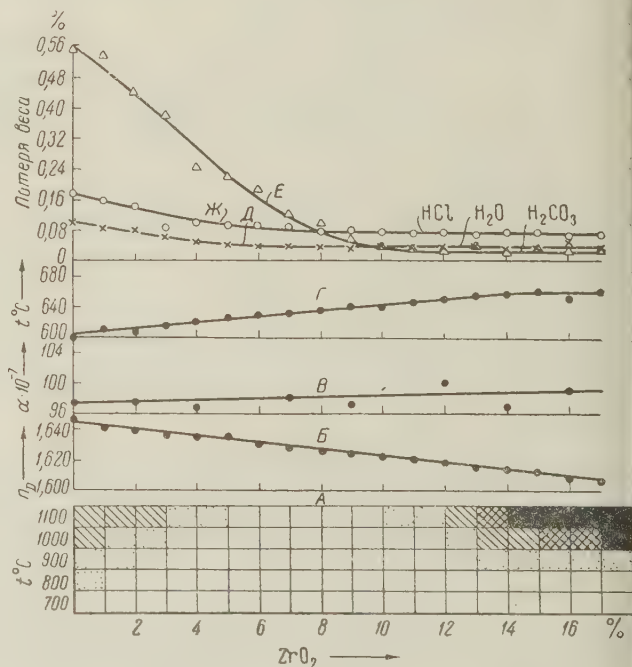


Рис. 3. Зависимость свойств силикатных стекол от состава. Серия III. Обозначения те же

Светопреломление стекол, совершенно свободных от кристаллов, определялось иммерсионным способом. Оно понижается от I к IV серии в связи с увеличением в стеклах кремнезема.

Во всех четырех сериях при замене двуокиси титана в стеклах двуокисью циркония наблюдается понижение светопреломления по прямолинейному закону. Показатели преломления опытных стекол заключались в пределах от 1,577 до 1,710.

Термическое расширение стекол определялось на стеклянных палочках длиной 130—150 мм и диаметром 1,5—2,0 мм в интервале температур от 30 до 400°. Средние коэффициенты расширения стекол мало изменяются в зависимости от переменного содержания  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  и  $\text{ZrO}_2$  (при постоянных количествах  $\text{CaO}$  и  $\text{Na}_2\text{O}$ ). Предельные значения линейного расширения стекол  $96,5\text{--}100,0 \cdot 10^{-7}$ .

Температура размягчения образцов стекла устанавливалась по началу прогиба палочек диаметром около 1 мм. Измерения показали, что  $\text{ZrO}_2$ , вводимая в  $\text{Si Ti Ca Na}$  стекла, повышает температуры размягчения. Замена кремнезема двуокисью титана мало влияет на температуру размягчения стекол; напротив, введение двуокиси циркония вместо двуокиси титана (при неизменном содержании  $\text{SiO}_2$ ) повышает температуру размягчения; последняя колеблется для опытных стекол в пределах от 600 до 650°.

Принимая во внимание все свойства изученных четырех серий стекол, можно признать лучшим составом  $55\text{SiO}_2 \cdot 12\text{--}13\text{TiO}_2 \cdot 8\text{--}7\text{ZrO}_2 \cdot 10\text{CaO} \cdot 15\text{Na}_2\text{O}$  (светопреломление 1,62), которое можно рекомендовать в качестве исходного для практики в производстве посуды повышенного качества.

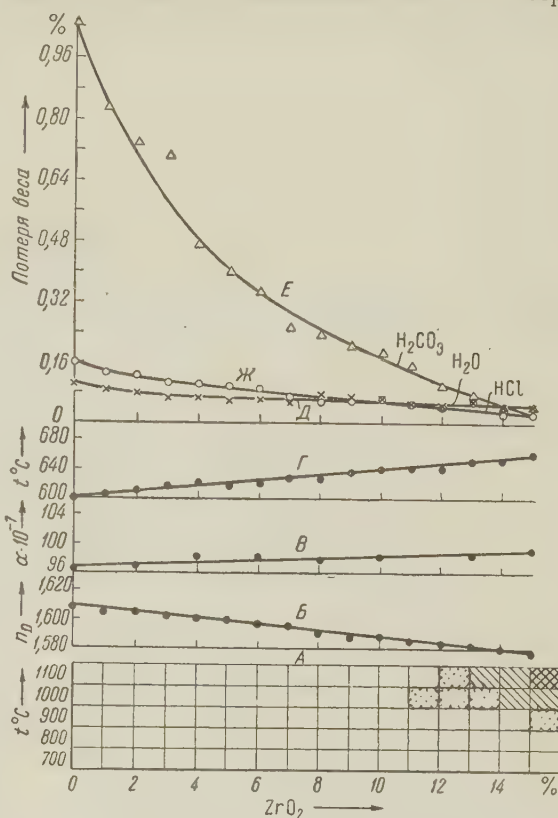


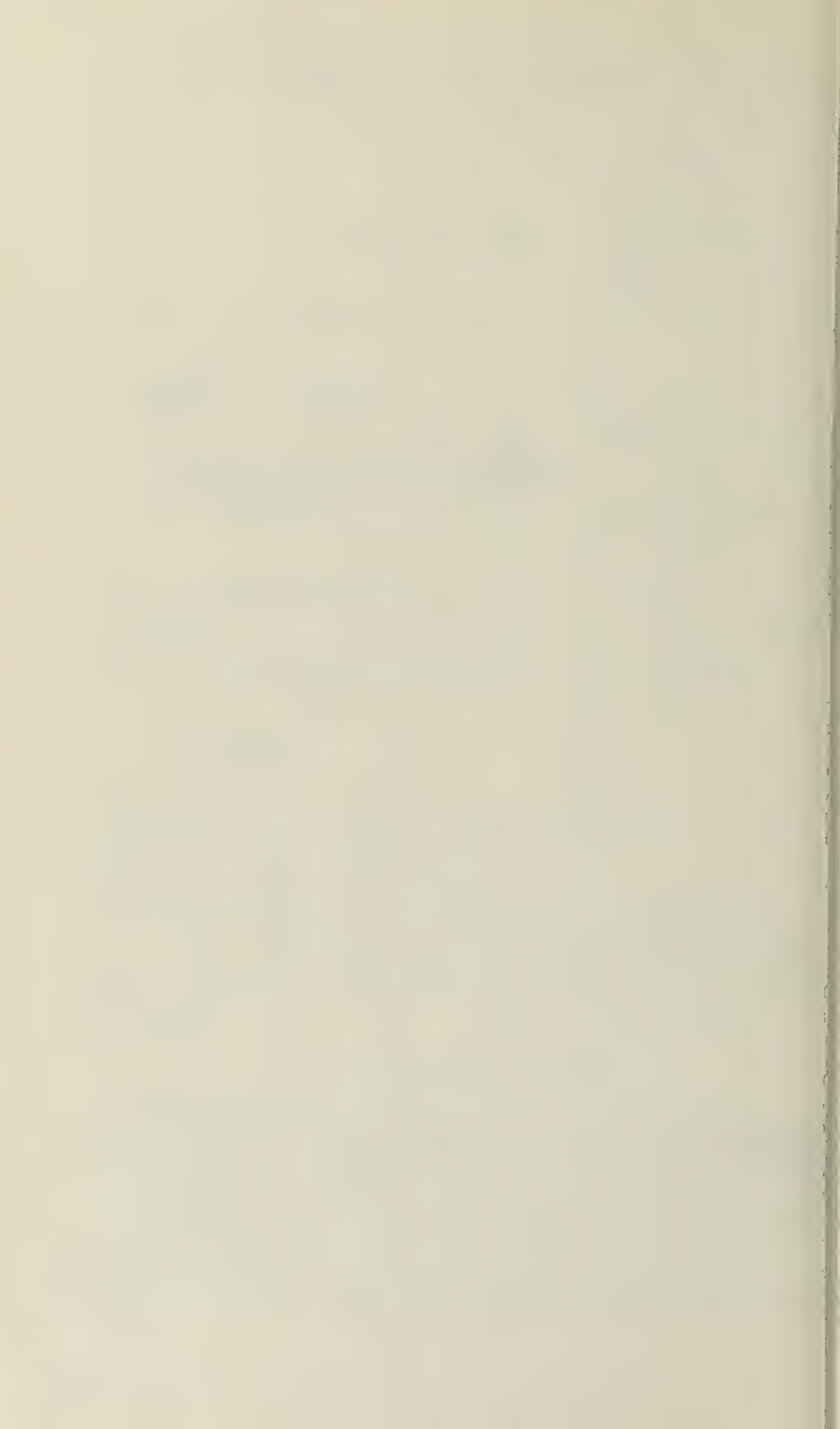
Рис. 4. Зависимость свойств силикатных стекол от состава. Серия IV. Обозначения те же

Белорусский политехнический институт  
г. Минск

Поступило  
19 XII 1956

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. Г. Воано, А. А. Аппен, *Опт.-мех. пром.*, № 12, 8 (1932).
- <sup>2</sup> К. П. Азаров, Н. С. Харченкова, *ЖПХ*, 12, в. 11, 1598 (1939).
- <sup>3</sup> К. П. Азаров, Л. Файнридер, *ЖПХ*, 9, 1414 (1940).
- <sup>4</sup> М. А. Безбородов, Л. К. Петров, В. М. Куманашкевич, *Сборн. научн. работ Инст. стройматериалов БССР*, Минск, 1952, стр. 18.
- <sup>5</sup> А. А. Аппен, *ДАН*, 69, 841 (1949).
- <sup>6</sup> А. А. Аппен, *ЖПХ*, 26, в. 1, 9 (1953).
- <sup>7</sup> М. А. Безбородов, А. И. Зеленский, *ДАН*, 96, № 1, 137 (1954).
- <sup>8</sup> М. А. Безбородов, А. И. Зеленский, *Сборн. научных работ Белорусск. политехн. инст.*, в. 55, 46 (1956).
- <sup>9</sup> Atma Ram, S. V. Bhatye, K. D. Sharma, *Bull. Centr. Glass and Ceram. Res. Inst., Calcutta*, 2, № 4, 170 (1955).
- <sup>10</sup> М. А. Безбородов, И. И. Кисель, *ДАН*, 103, № 6, 1073 (1955).
- <sup>11</sup> R. Turnbull, W. Lawrence, *J. Am. Ceram. Soc.*, 35, № 2, 48 (1952).
- <sup>12</sup> В. Варгин, *ДАН*, 103, № 1, 105 (1955).
- <sup>13</sup> К. Г. Куманин, Е. Я. Мухин, *Опт.-мех. пром.*, № 1, 3 (1940).
- <sup>14</sup> К. Г. Куманин, Е. Я. Мухин, *Опт.-мех. пром.*, № 1, 21 (1947).



П. С. ВОРОНОВ и М. В. КЛЕНОВА

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ РАЙОНА СОВЕТСКОЙ ЮЖНОПОЛЯРНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ МИРНЫЙ**

(Представлено академиком Д. И. Щербаковым 10 VI 1957)

Обсерватория Мирный расположена на побережье моря Дейвиса под  $66^{\circ}33'$  ю. ш. и  $93^{\circ}00'$  в. д. Край ледяного барьера Антарктиды к западу от ледника Хелен, назван Комплексной антарктической экспедицией Академии наук СССР берегом Правды. Мирный построен на северной оконечности небольшого полуострова, очертания которого имеют форму, близкую к равнобедренному треугольнику с вершиной, обращенной строго на север, отклоняющейся на 6 км от генерального направления ледяного барьера. Полуостров состоит в основном из мощных накоплений материкового льда с рядом выходов коренных пород. Последние представлены 4 береговыми нунатаками, впаянными в береговой лед, а также группой из 16 прибрежных скалистых островков различной величины, названных островами Дружбы (рис. 1)\*.

Наиболее крупный из них остров Хасуэлл площадью около  $1 \text{ км}^2$  находится в 3 км к северу от обсерватории и имеет в плане форму неправильного четырехугольника. Остров Хасуэлл является и самым высоким среди островов архипелага, возвышаясь на 93 м над уровнем моря. Остальные острова значительно меньше по размерам и их общая площадь составляет едва ли пятую часть площади о. Хасуэлл. Отметки вершины большинства островков находятся в пределах от 6 до 15 м и более крупных — от 19 до 38 м. Склоны островов крутые, иногда почти отвесные, вершины большей частью плоские, у некоторых островов несущие следы ледниковой обработки.

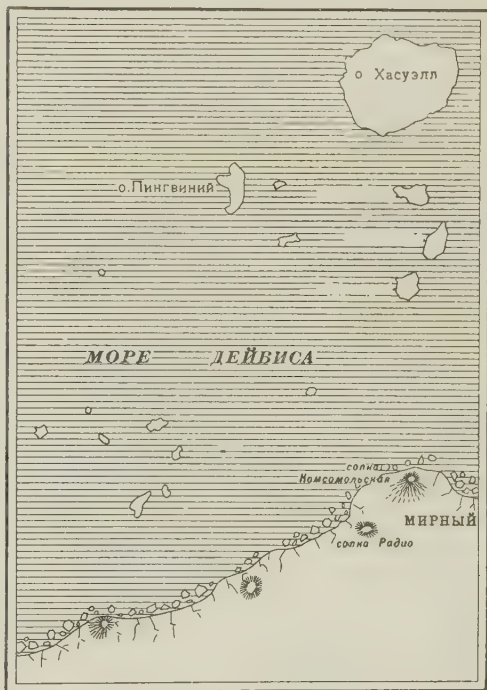


Рис. 1

\* Все упомянутые в настоящей статье названия — архипелага, нунатаков и отдельных островов, кроме острова Хасуэлл и о. Адамса, даны Комплексной антарктической экспедицией Академии наук СССР. Острова Годлея, Джонса и Доверса названы советской экспедицией в честь участников проходившей здесь в 1911—1914 гг. западной береговой партии австралийской экспедиции под руководством проф. Дугласа Моусона.



Береговые нунатаки — Комсомольский, Радио, Моренный и скала Ветров расположены почти на одной прямой линии вдоль северо-западного побережья полуострова. Крайний из них — скала Ветров удален от Мирного на 3 км. Размеры нунатаков не выходят за пределы десятков и первых сотен метров. На юго-восточном склоне нунатака Комсомольский, который по площади, обнаженной от льда, является наибольшим, располагаются основные сооружения Мирного. Высоты нунатаков находятся в пределах от 20 м (скала Ветров) до 50 м (сопка Радио). В 20 км к западу от островов Дружбы и в 5 км к северу от ледяного барьера находится одинокий островок Адамса длиной около 100 м, шириной 50 м и высотой приблизительно 10 м.

Все острова Дружбы можно рассматривать как вершины подводного порога, имеющего субмеридиональную ориентировку и уходящего одним концом за остров Хасуэлл, а другим — на юг по оси полуострова Мирный под покров материкового льда. Ширина порога по изобате 100 м около 3 км, длина, по-видимому, превышает 10 км. В пределах порога преобладают глубины от 50 до 100 м, но по обе стороны его они возрастают до 200 м и более.

То обстоятельство, что изобата 150 м даже в пределах порога Хасуэлл близко подходит в рядемест к краю ледникового барьера, а также анализ характера многих морфологических особенностей поверхности материкового льда в пределах полуострова Мирного убедительно показывают, что к югу от обсерватории под материковым льдом захоронен еще ряд островов, генетически связанных с архипелагом Дружбы и являющихся его непосредственным продолжением. Часть из них представлена береговыми нунатаками, а другая, по-видимому, обозначена находящимися несколько южнее невысокими куполами голубого льда\*.

Все острова в районе обсерватории Мирный, включая остров Адамса, а также береговые нунатаки принадлежат, очевидно, к одному массиву пород чарнокитового ряда. Преобладает крупнозернистый чарнокит, по определению Т. А. Лапинской состоящий из плагиоклаза (40—50%), гиперстена (до 20%), роговой обманки (10—15%), кварца (5—10% и более), биотита (от единичных зерен до 20%), рудных минералов — титаномagnetита или магнетита и апатита. Встречается калиевый полевой шпат. Плагиоклазы, в большей частью двух генераций, причем более кислые (андезин) замещают более основные (лабрадор). Калиевые полевые шпаты замещают плагиоклазы. Нунатак Комсомольский сложен мигматитами, пироксеновыми и пироксено-биотитовыми гнейсами.

В составе массива, помимо более или менее обогащенных кислыми компонентами (кварцем и полевыми шпатами) разностей, встречаются многочисленные ксенолиты, интрузии основных пород и участки мигматитового строения. В восточной части нунатака Комсомольского обнажается интрузия темно-серого норита, сопровождающегося брекчиевидной зоной мощностью в среднем 20 м. По определению Т. А. Лапинской, норит состоит из лабрадора (около 40%), гиперстена (40—50%); спорадически встречается биотит (5—10%), а также рудные минералы — титаномagnetит и, возможно, пирротин. Мелкозернистый образец из того же нунатака, в котором кроме гиперстена присутствует моноклинный пироксен, определен, как габбро-норат.

На нунатаке Моренном выходит гиперстеновый гнейс из плагиоклазов — преимущественно андезина (50—60%), гиперстена (10—15%), кварца (20—25%) с единичными зернами биотита и рудными минералами (5—10%).

\* По мнению одного из авторов (П. С. Воронова), разделяемому также участником Комплексной антарктической экспедиции А. П. Капицей, на основании предварительных данных проведенных им буровых работ и сейсмозондирования, обсерватория Мирный стоит, очевидно, достаточно далеко от расположенного где-то далее на юге коренного берега континента. По мнению другого автора (М. В. Кленовой), под материковым льдом в районе Мирного может быть погребено побережье фиордово-шхерного типа с многочисленными глубокими фиордами, обширными заливами с островками и скалами, подобное ныне обнаженному от льда побережью Гренландии или Скандинавского щита.

Порода разбита трещинами, заполненными кварцевыми жилами. Поверхность, как и на других нунатаках отполирована действием льда. В темных шлирах на поверхности нунатака встречен почти мономинеральный пироксенит (гиперстена 85—90%, по определению Т. А. Лапинской). Аналогичные породы встречены на о. Пингвиньем.

В чарнокитовом массиве часто включены ксенолиты светлых и темных разновидностей метаморфических пород размером от отдельных вкраплений до больших глыб (десятки метров в поперечнике — в южной части о. Доверса и о. Пингвиньего). В районе Мирного преобладают ксенолиты, уплощенные или угловатые, а на о. Адамса они имеют округлую форму, более изменены и встречаются реже.

В чарнокитовом массиве района хорошо развиты поперечные, продольные и диагональные трещины отдельности. Поперечные и продольные трещины имеют почти вертикальное падение и часто определяют формирование рельефа островов и нунатаков. Диагональные и продольные трещины использованы многочисленными аплитовыми и пегматитовыми жилами. Полевой шпат пегматитовых жил имеет белую или розовую окраску, размеры его кристаллов достигают 10—15 см. На о. Годлея южнее о. Хаттулла были найдены одиночные зерна молибденита и висмутита. Кварцевые жилы встречаются реже и имеют небольшую мощность.

Большинство аплитовых жил имеет субмеридиональное простирание при крутом (70° и более) падении. Также субмеридиональное простирание, постепенно, по мере продвижения к о. Адамса, поворачивающее на северо-запад, имеет полосчатость чарнокитового массива.

Закономерное изменение пространственной ориентировки полосчатости, изменения характера ксенолитов, а также однородность магнитного поля между районом Мирного и о. Адамса, установленная Ю. С. Глебовским и П. С. Вороновым, позволяют предположить, что все острова и нунатаки являются частями одного крупного плутона, центр которого расположен к западу от Мирного.

Существенную роль в структуре района играют также трещины юго-западного простирания, которые наряду с субмеридиональными определяют также очертания элементов подводного рельефа.

Нунатаки Комсомольский и Моренный окаймлены краевыми моренами шириной 20—30 м, длиной 200—300 м. В 4 км к юго-западу от Мирного П. С. Вороновым обнаружена небольшая морена вытаивания и в 12 км по тому же направлению на поверхности опрокинувшейся ледяной глыбы — местная донная морена покровного оледенения Антарктиды. Моренные накопления состоят из глыб, валунов и щебня разнообразных пород, среди которых резко преобладают граниты и гнейсы. Реже встречаются обломки аплитовых и пегматитовых жил, а также валуны основных и ультраосновных пород. Изредка попадаются обломки розового и белого мрамора, иногда с гранатом, а также актинолитовых и хлорито-серицитовых сланцев. Неметаморфизованные осадочные породы не найдены.

Измельченный моренный материал встречается в виде небольших скоплений среди крупных обломков и в углублениях и неровностях на поверхности коренных пород. Он представлен плохо сортированным песком и гравием с ничтожным содержанием пелитовой фракции и окрашен большей частью в серый, местами в желтый цвет. Большее количество мелкообломочного материала (размером от гравия до глины) встречено в донной морене. Здесь он располагается в виде серии правильных сантиметровых прослоек среди слоя льда мощностью около 1,5 м.

Как уже указывалось, геоморфологические особенности нунатаков и островов района Мирного в большей мере определяются характером и направлением трещин отдельности. Значительную роль играет и экзарационная деятельность покровного оледенения Антарктиды. Большинство островов и нунатаков имеет форму типичных бараньих лбов с пологими

южными и крутыми северными склонами. Почти все склоны, особенно в южной экспозиции, несут на себе хорошо выраженную ледниковую штриховку вплоть до шрамов длиной более 2 м и глубиной около 10 см. На склонах четко выраженные морские террасы отсутствуют.

К числу процессов, формирующих современный микро- и отчасти мезорельеф скал в районе Мирного, относится дефляция, вызывающая под действием ураганных ветров шелушение (десквамацию) пород, а также образование пустот, ячеек выдувания, грибовидных останцов. Эти формы эолового выветривания, вообще очень характерные для Антарктиды, наблюдаются на вершинах скал, особенно на юго-восточных выступках, в виде навесов, кружевных и сотовых поверхностей.

Очень характерны также для условий высокоширотной пустыни явления поверхностного изменения цвета пород — зеленовато-серая окраска чарнокита переходит в коричневатую-серую, на поверхности основных пород и в обогащенных темноцветными компонентами участках образуются ожелезненные корки и налеты; поверхность метаморфических пород, в частности гиперстенового гнейса, напротив, приобретает светлую окраску.

Метаморфические породы в районе Мирного перемяты и изменены больше, чем аналогичные породы оазиса Бангера (наблюдения П. С. Воронова), что позволяет считать их более древними и отнести к несомненному архею. Можно допустить, что в структурном отношении метаморфические породы нунатаков Моренного и Комсомольского относятся к юго-восточному обрамлению плутона и что породы южной части о. Пингвиньего являются лишь крупным ксенолитом в теле данного интрузива.

По мнению одного из авторов (М. В. Кленовой), данные полевых наблюдений и петрографического анализа с несомненностью указывают на сложную историю развития этого массива. Гнейсы и основные породы типа пироксенитов являются, очевидно, наиболее древними членами всей серии. В процессе внедрения кислой магмы образовался чарнокитовый массив, который впоследствии неоднократно подвергался сжатию. В образовавшиеся трещины меридионального и юго-западного простирания проникали дериваты той же магмы, образуя пегматитовые и прочие жилы. Интрузия габбро-норита нунатака Комсомольского произошла в более позднюю стадию. С этим связана отмеченная Т. А. Лапинской свежесть минеральных компонентов этой породы и отсутствие в них вторичных изменений — разъедания более щелочных полевых шпатов более кислыми, образование мирмекита и пр. К еще более позднему времени относятся сохранившиеся местами в трещинах отдельности перекристаллизованные потеки окрашенного в серый цвет карбонатно-глинистого осадка.

Меридиональные простирания являются более молодыми, с ними вероятно связано формирование порога Хасуэлла. Можно наблюдать, что трещины, образующиеся в настоящее время и ничем не заполненные, повторяют направления древних. Как это обычно наблюдается в древних массивах, направления трещин унаследованы, что отражается и на очертаниях элементов подводного и наземного рельефа.

Комплексная антарктическая экспедиция  
Академии наук СССР  
Антарктида, Мирный

Поступило  
30 XI 1956



П. П. ЗОТОВ

## О ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ И ВОЗРАСТЕ ИНТРУЗИВНЫХ ПОРОД КОУНРАДСКОГО РАЙОНА

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 25 III 1957)

Интрузивные породы в Коунрадском районе Казахстана пользуются большим развитием; они составляют 74% всей площади района. По своему составу, структуре и форме тел они довольно разнообразны и в целом придают району весьма сложную картину. Кроме широко развитых интрузий кварцевых диоритов (и гранодиоритов), биотитовых гранитов и аплитовидных гранитов, здесь имеются многочисленные и разнообразные жильные породы, суммарная длина которых превосходит 1000 км. Можно без преувеличения сказать, что по интенсивности и полноте проявления интрузивных процессов Коунрадский район является одним из классических районов Казахстана. Изучение интрузивной геологии этого района поэтому должно быть особенно ценно для понимания всего палеозойского магматизма в Казахстане.

За последние 25 лет Коунрадский район изучался многими исследователями, при этом по вопросу о последовательности интрузий ими было высказано две точки зрения. Наиболее ранние исследователи считали, что в районе залегает единый громадный Бектау—Атинский батолит, центральные части которого сложены гранитами, а периферические — гранодиоритами; впоследствии батолит был пронизан дополнительными интрузиями монцонитов, аплитов, фельзитов и других интрузивных пород. Этот взгляд вошел в официальное описание геологии Казахстана<sup>(1)</sup> и удерживается еще до настоящего времени. Согласно более новой точке зрения, коунрадские интрузии являются двухфазными: в первую фазу образовались гранодиориты, во вторую — граниты. При этом считается, что с каждой интрузивной фазой связана своя серия жильных пород.

Наши детальные исследования, произведенные на площади свыше 3500 км<sup>2</sup> дали новые материалы, в результате которых вопрос о последовательности интрузий получает совершенно иное освещение. Прежде всего, выяснилось, что коунрадские интрузии представляют собой сложный интрузивный комплекс, сформировавшийся в процессе многократных внедрений магм различного состава. Жильные породы района в большинстве своем оказываются не связанными с отдельными интрузиями (кварцевых диоритов и гранитов), а являются общими для этих пород.

Последовательность внедрения интрузивных пород на основании наших данных рисуется в следующем виде. Наиболее ранними породами являются кварцевые диориты и гранодиориты. Они образуют единую интрузию, достигающую 100 км в поперечнике. В последующую фазу внедрились крупнозернистые биотитовые граниты. Они находятся в кварцевых диоритах, в которых образуют ряд тел, размером до 10—15 км в поперечнике. Взаимоотношение их с кварцевыми диоритами выяснено совершенно точно: они секут кварцевые диориты и имеют с последними активные контакты. По объему внедрившейся магмы — это вторая по величине интрузивная фаза района.



За образованием биотитовых гранитов произошло внедрение аплитовидных гранитов. Последние представляют мелкозернистые лейкократовые породы розовой и желтовато-серой окраски, залегающие в виде небольших тел, размером от 100 м до 5 км в поперечнике. Большинство исследователей относит эти породы к шлирам и краевой фации крупнозернистых гранитов, однако это не так. Величина, форма и залегание аплитовидных гранитов говорят о том, что это трещинные интрузии, внедрившиеся в крупнозернистые граниты после их полной или частичной кристаллизации и отвердения. По своей форме они часто вытянуты в длину и являются пластино- и штокообразными телами. Площадь выходов аплитовидных гранитов составляет 140 км<sup>2</sup>, или 25% площади биотитовых гранитов. Такой значительный процент выходов аплитовидных гранитов, при нахождении их внутри биотитовых гранитов и кварцевых диоритов, явно говорит против принадлежности этих пород к краевой фации и шлирам крупнозернистых гранитов.

Одновременно с внедрением аплитовидных гранитов произошло образование жильных пород — аплитов. Наблюдения показали, что дайки аплитовидных гранитов являются главным образом апофизами, отходящими от интрузий аплитовидных гранитов, и только небольшая по объему часть их образует дополнительные внедрения аплитовогранитной магмы.

После интрузий аплитовидных гранитов произошло внедрение гранитопорфиров. Последние отличаются от аплитовидных гранитов только своей текстурой и структурой. Гранит-порфировые участки встречаются иногда среди аплитовидных гранитов, имея с последними постепенные переходы, но большей частью они образуют самостоятельные интрузивные тела. Суммарная площадь их в районе составляет 7 км<sup>2</sup>. Вместе с интрузиями гранитопорфиров образовались дайки гранит-порфиров; они, как и аплиты, являются апофизами, отходящими от соответствующих интрузий.

После внедрения перечисленных интрузий начали образовываться многочисленные жильные породы, составляющие характерную черту Коунрадского района. Первыми среди них были кварцевые диорит-порфиры. Дайки этих пород имеют громадные размеры: они тянутся на десятки километров при мощности 10—15 м. Нам удавалось проследивать эти дайки на расстояние до 40 км. На всем этом протяжении мы не раз наблюдали, как кварцевые диорит-порфиры секут не только кварцевые диориты, но и биотитовые граниты. Отсюда с несомненностью вытекает, что дайки кварцевых диорит-порфиров возникли после биотитовых гранитов и не самостоятельной серии, связанной с кварцевыми диоритами, не образуют.

Установив этот факт, мы имели возможность выяснить время внедрения и остальных жильных пород района — фельзитов и кварцевых порфиров, спессартитов, андезитовых и диабазовых порфиров. Оказалось, что все они образовались в еще более позднее время, чем кварцевые диорит-порфиры. Это совершенно точно установлено наблюдением над пересечениями жильных пород. Последние показали, что дайки фельзитов и кварцевых порфиров секут дайки кварцевых диорит-порфиров и сами пересекаются дайками спессартитов, андезитовых и диабазовых порфиров.

Как показали наши дальнейшие исследования, дайки кварцевых диорит-порфиров секут не только интрузии кварцевых диоритов и биотитовых гранитов, но и более поздние интрузии аплитовидных гранитов и гранит-порфиров. В результате интрузивная деятельность Коунрадского района представляется в следующей последовательности (начиная от более ранних фаз): 1) кварцевые диориты и гранодиориты, 2) крупнозернистые биотитовые граниты, 3) аплитовидные граниты и синхроничные им дайки аплитов, 4) гранит-порфиры и синхроничные им дайки гранит-порфиров, 5) дайки кварцевых диорит-порфиров, 6) дайки фельзитов и кварцевых порфиров, 7) дайки спессартитов, 8) дайки андезитовых и диабазовых порфиров. Несколько условным в этой схеме является положение только спессартитов, в отношении которых полных данных нет. Все остальные

взаимоотношения пород подтверждаются несомненными фактическими данными.

Мы видим, что интрузивная деятельность в Коунрадском районе была весьма сложной и протекала в восемь интрузивных фаз. Все интрузивные породы района образуют единый комплекс, закономерен развивавшийся от магм среднего состава к магмам кислым и ультракислым. Главнейшие жильные породы образовались только после внедрения аплитовидных гранитов и гранит-порфиров, и, таким образом, являются общими для всего интрузивного комплекса. Характерно, что последние жильные внедрения представлены породами основной магмы.

Приведенная схема последовательности внедрения пород находит свое подтверждение и в распределении жильных пород по вмещающим их интрузиям (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что все главнейшие дайки района залегают не только в кварцевых диоритах, но и в биотитовых гранитах, в аплитовидных гра-

Таблица 1

Распределение жильных пород по интрузиям (в километрах)

Жильная порода	В кварцевых диоритах	В биотитовых гранитах	В аплитовидных гранитах	В гранит-порфирах
Фельзиты и кварцевые порфиры	505	141	4	—
Андезитовые и диабазовые порфириты	319	35	28	0,3
Кварцевые диорит-порфириты	191	26	12	1,2
Аплиты и гранит-порфиры	27	8	—	—
Спессартиты	8	—	—	—

нитых и даже в гранит-порфирах. Суммарная длина жильных пород в отдельных интрузиях, правда, не одинакова. Большинство даек залегает среди кварцевых диоритов, но это совершенно естественно. Кварцевые диориты являются наиболее ранними породами, более всего подвергавшиеся разломам. Отсюда и насыщенность их жильными породами должна быть выше. Кроме того, площадь кварцеводиоритовой интрузии в три раза превосходит площадь биотитовых гранитов, что также сказалось на увеличении суммарной длины жильных пород в этой интрузии.

Приведенные в табл. 1 данные некоторые исследователи склонны понимать иначе: они считают, что жильные породы в кварцевых диоритах и гранитах являются одинаковыми только по названию, генетически же это различные тела. С таким пониманием мы никак не можем согласиться. Во многих случаях вполне отчетливо установлено, как физически одни и те же дайки переходят из гранитов в кварцевые диориты, и наоборот. Подобные дайки никак не могут принадлежать к разным генерациям, а такая картина наблюдается решительно у всех типов даек. Какого-либо срезания даек последующими интрузиями нигде в районе нами не констатируется.

На основании всего этого мы приходим к заключению, что жильные породы Коунрадского района образуют единую серию, возникшую в самом конце интрузивного процесса. Никакой связи одних жильных пород с кварцевыми диоритами, других с гранитами — не наблюдается. Внедрение жильных пород происходило в то время, когда главнейшие интрузии уже достаточно закристаллизовались и охладились. Об этом красноречиво говорят мелкозернистые каемки, наблюдающиеся в зальбандах жильных пород.

Возрастное положение коунрадского интрузивного комплекса до последнего времени вызывает дискуссии. Некоторые исследователи считают,

что кварцевые диориты являются каледонскими, другие относят их к варисскому магматическому этапу. Накопившиеся в последние годы факты, в том числе и наши, позволяют считать единственно правильной последнюю точку зрения. Варисский возраст коунрадских интрузий определяется тем, что наиболее ранние из них — кварцевые диориты — активно контактируют с осадочно-эффузивной толщей нижнего карбона и с эффузивами среднего карбона. В контактах с этими породами кварцевые диориты всюду имеют более мелкозернистую каемку, а вмещающие их породы несут следы явного ороговикования. По данным В. А. Вахрамеева<sup>(2)</sup>, гранодиориты саякской мульды, являющиеся, по-нашему, аналогами коунрадских гранодиоритов и кварцевых диоритов, активно контактируют с низами среднего карбона. В последние годы установлено, что эффузивы Коунрадского района являются не девонскими, как это считалось, а среднекарбонными. Активные контакты кварцевых диоритов с этими эффузивами свидетельствуют о том, что они не могут быть каледонскими. Поэтому следует считать, что внедрение кварцевых диоритов в Коунрадском районе началось не ранее второй половины среднего карбона, а может быть и в верхнем карбоне. Новейшие данные по Джунгарскому Ала-Тау, где гранодиориты прорывают отложения среднего и даже верхнего карбона, вполне допускают такое предположение. Конец интрузивных процессов в районе имел место, по-видимому, в пермском периоде, однако достоверных данных по этому вопросу нет.

Мы приходим к заключению, что интрузия кварцевых диоритов и гранодиоритов Коунрадского района является среднекарбонной (ранневарисской), а интрузии биотитовых гранитов, аплитовидных гранитов и гранит-порфиров — пермскими (поздневарисскими). Этот вывод теперь все более и более подтверждается новейшими данными.

Казахский государственный университет  
им. С. М. Кирова

Поступило  
1 XI 1956

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Геология СССР, 20, 1941. <sup>2</sup> В. А. Вахрамеев, Бюлл. МОИП, отд. геол. 20, 1—2 (1945).



В. А. ЗУБАКОВ

## О ЛЕДНИКОВО-МОРСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И ГРАНИЦАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ САНЧУГОВСКОЙ ТРАНСГРЕССИИ ПО ЕНИСЕЮ

(Представлено академиком Д. В. Наливкиным 29 III 1957)

В 1946—1949 гг. Н. А. Нагинский и Г. Ф. Лунгерсгаузен выделили в Приенисейской Сибири новый моренный горизонт, в дальнейшем получивший название енисейского или тазовского. По мнению большинства авторов <sup>(1, 2)</sup>, енисейское (тазовское) оледенение, следовавшее непосредственно за максимальным, носило покровный характер, а ледниковый покров распространялся по низменности до 62° с. ш., оставив после себя так называемый Таз-Пур-Надымский краевой конечно-моренный пояс. По стратиграфической схеме, принятой на Межведомственном совещании по стратиграфии Сибири, состоявшемся в январе 1956 г., тазовское оледенение предшествовало санчуговской трансгрессии и формированию песков мессовского горизонта <sup>(3)</sup>. Новые данные по стратиграфии четвертичных отложений долины Енисея не подтверждают этого.

Летом 1956 г. отложения енисейского горизонта, представленные осколчатыми суглинками с включениями гальки и валунов сибирских пород, были прослежены мною по долине Енисея от устья Подкаменной Тунгуски (61°30' с. ш.) до с. Караул (70° с. ш.). В ходе прослеживания был установлен постепенный фациальный переход моренных отложений енисейского горизонта в типично морские отложения санчуговской свиты. Как известно, граница санчуговской трансгрессии в долине Енисея со времен Ф. Б. Шмидта проводится в районе с. Плахино (67°40' с. ш.) <sup>(4, 5)</sup>. Летом 1956 г. мною и Д. В. Семевским фауна четвертичных морских моллюсков была собрана в валунных суглинках береговых обнажений по Енисею в 300—400 км к югу от Плахино, на участке от 65 до 63° с. ш. По определению С. Л. Троицкого и М. А. Лавровой, в сборах, помимо неопределимых обломков *Bivalvia*, представлены: *Portlandia arctica* Gray, *Astarte crenata* Gray, *A. montagui* Dillwin, *A. borealis* Chemnitz, *A. compressa* Linné, *Macoma baltica* Linné, *Saxicava arctica* Linné, *Cyprina islandica* Linné, *Mya* sp.

Фауна в валунных суглинках находится в первичном залегании, о чем свидетельствует хорошая сохранность целых экземпляров хрупкой раковины *Portlandia arctica* при значительной удаленности мест находок фауны от установленных районов развития морских отложений (более 300 км), наличие внутри целых экземпляров раковин породы, аналогичной вмещающей, и залегание раковин в комплексе только с сибирскими валунами, а не таймыро-сибирскими, что было бы в случае переноса раковин с севера ледником.

Наличие морской фауны в валунных суглинках и перекрывающих их песках (наденисейские слои) констатировано также для бассейна Турухана (66° с. ш.) Ю. А. Лаврушиным <sup>(6)</sup>, С. А. Архиповым и С. П. Альтер и для междуречья рек Таза и Енисея С. В. Уржумовой, обнаружившей обломки *Saxicava arctica* Linné в верховьях р. Верхняя Баиха на 65°30' с. ш.

Толща валунных суглинков долины Енисея по данным спорово-пыльцевого и минералогического анализов может быть разделена на два горизонта. Нижний горизонт на участке Подкаменная Тунгуска — Бахта характеризуется очень малым содержанием гальки и валунов и значительной ролью среди последних пород Енисейского кряжа, диопсид-рогово-обманково-эпидотовым минералогическим комплексом и межледниковым спорово-пыльцевым спектром (оплывнинские озерно-эстуарные слои).

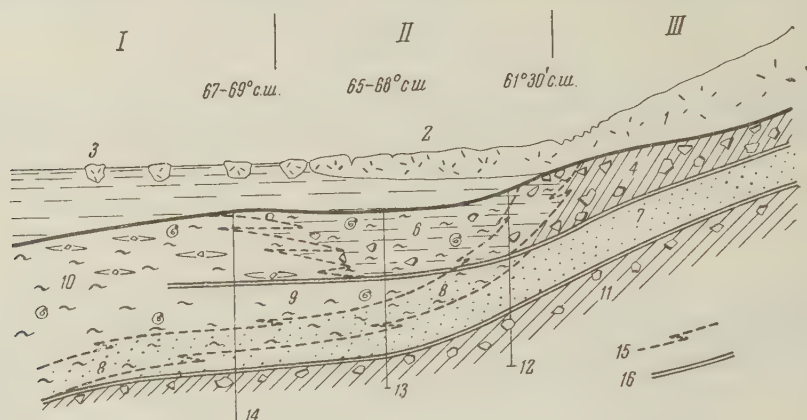


Рис. 1. Фашиально-стратиграфическая схема отложений Западно-Сибирской низменности времени санчуговской трансгрессии: I — зона открытого моря, II — зона ингрессионного залива, III — материковая зона Сибирской платформы; 1 — материковый ледниковый покров в пределах Средне-Сибирского плоскогорья; 2 — шельфовый лед; 3 — зона айсбергов; 4 — континентальная морена ( $gl Q_3^2 e$ ); 5 — ледниково-эстуарные отложения енисейского горизонта ( $gllm Q_3^2 e$ ); 6 — ледниково-морские отложения енисейского горизонта ( $glm Q_3^2 e$ ); 7 — межледниковые континентальные отложения хахалевского (мессовского) горизонта ( $lal Q_3^1 h$ ); 8 — межледниковые озерно-эстуарные оплывнинские слои ( $lm Q_3^1 op$ ); 9 — межледниковые морские отложения самбургского горизонта ( $m Q_3^1 b$ ); 10 — нерасчлененная толща морских отложений санчуговской свиты ( $m Q_3^{1-2}$ ); 11 — морена максимального оледенения; 12 — 14 — фактически наблюдаемые разрезы; 15 — граница фашиальных зон; 16 — палеоклиматические границы, фиксированные в отложениях

Верхний горизонт на этом участке, имеющий моренный характер, характеризуется резким возрастанием гальки сибирских пород, авгит-пижонитовым минералогическим комплексом и спорово-пыльцевым спектром лесотундрового типа (енисейский горизонт).

На участке Канготово—Турухан деление валунных суглинков на два горизонта менее четко ввиду удаленности этого района от питающей провинции Енисейского кряжа. Однако по спорово-пыльцевым данным эти горизонты выделяются и здесь. К нижнему горизонту относятся находки в районе с. Пупково бореальных видов фауны пеллеципод — *Masomma baltica* и *Cyprina islandica* (самбургский горизонт); верхний горизонт здесь характеризуется арктической фауной — *Portlandia arctica* и *Astarte crenata* и лесотундровым спорово-пыльцевым спектром (енисейский горизонт).

Вся описываемая толща валунных суглинков, до 50—60 м мощностью вместе с перекрывающими ленточными глинами и песками (наденисейские слои) относится к санчуговской свите; подстилающие пески, врезанные в морену максимального оледенения, — к хахалевскому (мессовскому) горизонту.

В свете этих данных нельзя согласиться с отнесением енисейского горизонта к континентальным моренным образованиям. Помимо наличия морской фауны, в пользу морского и эстуарного генезиса суглинков

енисейского горизонта свидетельствует наличие слоистости, как тонкой, так и грубой, хорошая отмученность мелкоземистого материала, его темный цвет и сероводородный запах, свидетельствующие об отложении в восстановительной среде, наличие глинисто-известковых септарий, состав спорово-пыльцевого спектра, характеризующийся выпадением пыльцы трав, не выдерживающей водного переноса, а также фациальные переходы, и прежде всего — совершенно постепенный переход от подстилающих меж-

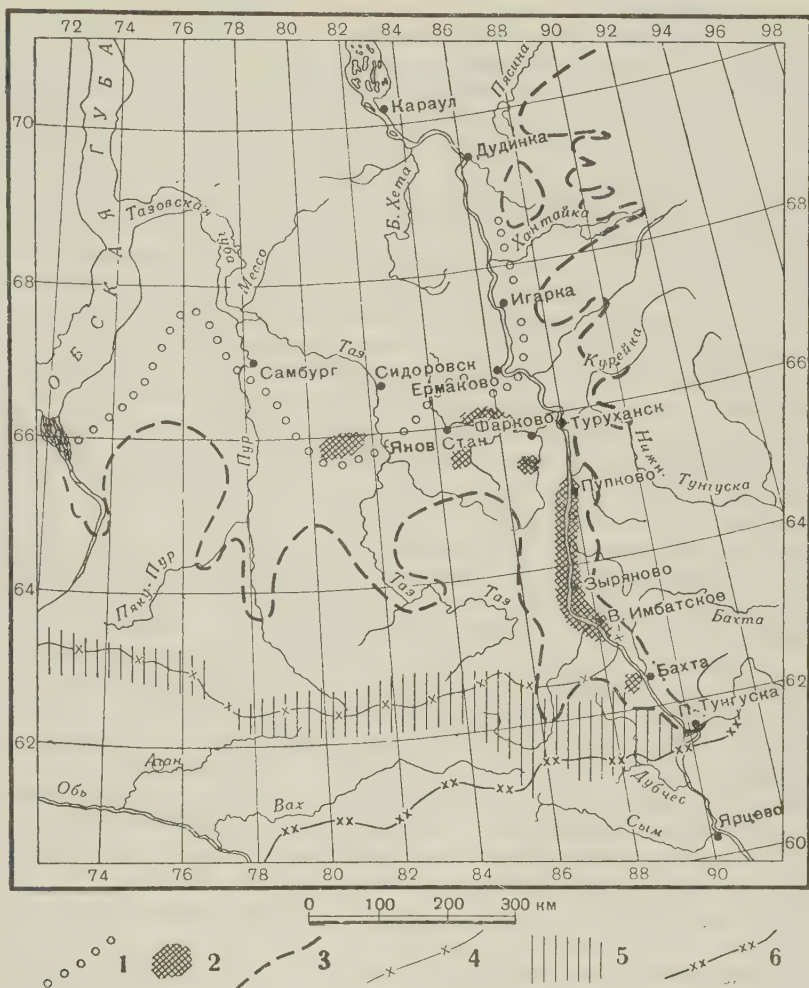


Рис. 2. Обзорная карта Приенисейской Сибири. 1 — южная граница санчуговской трансгрессии по В. Н. Саксу (<sup>6</sup>); 2 — места новых сборов морской четвертичной фауны; 3 — предполагаемая граница санчуговской трансгрессии и зоны распространения ледниково-морских отложений енисейского горизонта; 4 — граница тазовского оледенения по С. Б. Шацкому; 5 — Кондо-Дубчешский вал с выходами меловых и палеогенных пород; 6 — граница максимального оледенения

ледниковых озерных глин (оплывинские слои) в валунные мореноподобные суглинки енисейского горизонта.

Несмотря на то, что морской генезис енисейского горизонта в долине Енисея не подлежит сомнению, отнесение последнего к межледниковому веку едва ли возможно.

Наличие несортированных плохоокатанных обломочных включений целиком сибирского состава, весьма частое отсутствие слоистости, характер спорово-пыльцевого спектра, отражающий значительное похолодание, и



наличие фациальных переходов к континентальным моренным образованиям на Сибирской платформе, а также фациальная связь с покрывающими ленточными глинами и флювиогляциальными песками — все это заставляет относить суглинки енисейского горизонта к ледниково-морским образованиям, коррелятивным ледниковым формам и отложениям «второго покровного» оледенения, т. е. енисейского оледенения, установленного геологами Всесоюзного аэрогеологического треста в Приенисейской части Средне-Сибирского плоскогорья.

Широкое развитие ледниково-морских отложений констатировано в настоящее время для морского дна у берегов Антарктиды и Северной Америки (<sup>7, 8</sup>). Однако в ископаемом состоянии на суше ледниково-морские отложения не известны. Д. В. Наливкин полагает, что некоторые отложения, которые считают моренами, на самом деле, может быть, представляя собой ледниково-морские отложения (<sup>7</sup>).

Это мнение вполне подтверждается для Западной Сибири, где стратиграфические данные позволяют утверждать совпадение максимума санчуговской трансгрессии с оледенением. Енисейское оледенение не носило покровного характера, ледники опускались в водный бассейн, образуя на его поверхности покров шельфового льда не более 50 м мощностью. Под шельфовым льдом формировались ледниково-морские отложения, визуально не отличимые от типичной морены (см. рис. 1); в области распространения айсбергов отложение моренного материала на дно происходило лишь sporadически, почему осадки этой части морского бассейна уже не носят характера морены, хотя и синхронны оледенению (пачки санчуговской свиты с *Portlandia lenticula* Möll., *Portlandia arctica* Gray и *Arca glacialis* Gray — «зона *Portlandia*» В. Н. Сакса).

Енисейское оледенение по масштабам своего развития на суше вероятно уступало зырянскому; однако совпадение его с трансгрессией моря, обусловившее широкое развитие на севере Западной Сибири ледниково-морских отложений енисейского горизонта, коррелятивных оледенению, и хорошая выраженность его в разрезах диктует практическую необходимость выделения енисейского горизонта в самостоятельный стратиграфический горизонт, равнозначный ярусу четвертичной системы, учитывая что подстилающие его слои охарактеризованы межледниковой флорой и фауной.

Границы «пассивного», т. е. отраженного в морских и эстуарных осадках, енисейского оледенения в пределах Западно-Сибирской низменности, по видимому, в значительной мере должны совпадать с границей санчуговской трансгрессии и иметь «ингрессионный» характер, вдаваясь к югу от 66° с. ш. по долинам Енисея, Таза, Пура и Оби (рис. 2).

Так называемые же краевые конечно-моренные образования Таз-Пур-Надымского пояса, по всей вероятности, не связаны с енисейским оледенением, так как холмисто-моренный рельеф этого пояса скорее всего определен сгуживанием моренного материала ледниковым покровом более древнего, т. е. максимального, оледенения перед выступом коренного мелового и палеогенового рельефа, вытянутого от Оби к Енисею почти в широтном направлении (Кондо-Дубчесский вал В. А. Николаева).

Всесоюзный научно-исследовательский  
геологический институт

Поступило  
27 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> С. Б. Шацкий, Тр. Томск. гос. унив., 133 (1956). <sup>2</sup> С. Г. Боч, Тез. Межвед. совещ. по разработке униф. стратиграф. схем Сибири, 1956. <sup>3</sup> Тр. Межвед. совещ. по разработке униф. страт. схем Сибири, 1957. <sup>4</sup> Н. Н. Урванцев, Тр. ГГРУ, в. 113 (1931). <sup>5</sup> В. Н. Сакс, Тр. НИИГА, 77 (1953). <sup>6</sup> С. А. Архипов, В. А. Зубаков, Ю. А. Лаврушин, ДАН, 112, № 1 (1957). <sup>7</sup> Д. В. Наливкин, Учение о фациях, 1, 1956. <sup>8</sup> Н. W. Menard, Bull. Geol. Soc. Am., 64, № 11 (1953).

Г. И. КЕДО

## О СТРАТИГРАФИИ И СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВЫХ КОМПЛЕКСАХ НИЖНИХ ГОРИЗОНТОВ КАРБОНА БССР

(Представлено академиком Н. М. Страховым 25 III 1957)

Настоящее сообщение посвящено стратиграфическому расчленению турнейских отложений и низов визе юга Белоруссии, возраст которых определялся до сих пор на основании стратиграфических соображений и изучения литологических особенностей пород, а также скудных находок фауны, в основном — остракод (<sup>1</sup>, <sup>3-5</sup>). Проведенная работа основана на большом количестве спорово-пыльцевых исследований, выполненных автором в течение последних лет. Для турне и низов визе в Припятском прогибе установлено семь разновозрастных спорово-пыльцевых комплексов, каждый из которых характеризует определенный горизонт нижнего карбона, последовательно снизу вверх: нижний, средний и верхний горизонты малевко-муравнинских слоев лихвинского подъяруса турне, чернышинские и кизеловские слои чернышинского подъяруса турне, нижнюю и верхнюю толщи сталиногорских слоев визе.

Турнейские отложения, широко распространенные в Припятском прогибе, залегают выше данково-лебедянских отложений верхнего девона, при этом в некоторых случаях по спорам удается установить озерско-хованские слои. Положение границы девона и карбона по литологическим признакам определить очень трудно. Вместе с тем, на границе между названными двумя системами выявлено резкое изменение спорово-пыльцевых комплексов, что позволяет установить положение подошвы карбона с необходимой точностью. На основании полученных данных, в турнейских отложениях выделяются аналоги лихвинского и чернышинского подъярусов.

**Л и х в и н с к и й   п о д ъ я р у с.** Отложения лихвинского подъяруса вскрыты скважинами в дд. Н. Рудня, Словечно, Н. Гостов, Ельск, Движки Глинка, Яшицы, Михедовичи, Княжий бор и др. и представлены, главным образом, глинами, реже мергелями, известняками — общей мощностью около 100 м. Здесь установлены аналоги малевко-муравнинских слоев, нижний, средний и верхний горизонты которых характеризуются определенными спорово-пыльцевыми комплексами. В литологическом отношении особенно четко выделяется нижний горизонт. В Ельской впадине эта часть разреза сложена темно-серыми, почти черными, зеленовато-серыми тонко сланцеватыми или уплотненными жирными глинами, изредка доломитизированными с обильными остракодами (Н. Рудня, Словечно, Ельск, Заозерная (<sup>1</sup>). В Шатилковской впадине нижний горизонт представлен частым чередованием сравнительно тонких прослоев серо-зеленых и серых жирных глин, изредка карбонатных с алевроитовыми присыпками на плоскостях, и известняков светло-серых, глинистых, реже кристаллических с очень тонкими прослоями и прожилками кальцита и обилием остракод, что очень характерно для этой части разреза. Встречаются рыбы и растительные остатки (Яшицы, Сельня, Рог, Глинка и др.) (<sup>3</sup>). В этих отложениях как в Ельской, так и в Шатилковской впадинах выделяется своеобразный ком-

плекс спор с преобладанием видов типично карбонового облика и присутствием отдельных экземпляров, продолжающих свое существование еще из девона. Наиболее часто встречающимися видами являются: *Trachytriletes solidus* Naum., *Lophotriletes rotundus* Naum., *Archaeozonotriletes malevkensis* Naum., *Hymenozonotriletes pusillites* Kedo, *Stenozonotriletes pumilus* Naum.

Выше в Ельской впадине залегает песчано-глинистая толща среднего горизонта малевко-мураевнинских слоев, сложенная серыми, голубовато-серыми песчанистыми глинами, некарбонатными, с обуглившимися растительными остатками, образующими очень тонкие прослои угля, и песчаниками серыми и пестроцветными, мелко- и крупнозернистыми, в различной степени сцементированными, изредка с включением галек овручского розового кварцита (Н. Рудня). Граница среднего и верхнего горизонта малевко-мураевнинских слоев проходит по прослою довольно крепкого светло-серого кварцевого песчаника, включающего большое количество мелкой гальки.

В Шатилковской впадине средний горизонт малевко-мураевнинских слоев представлен зеленовато-серыми и темно-серыми мергелями, плотными, слоистыми с тонкими прослоями светло-серого крепкого глинистого известняка с вертикальными трещинами, заполненными кристаллическим кальцитом. Изредка наблюдаются прослои жирных известковистых глин. Характерно обилие остракод<sup>(3)</sup>, встречаются рыбы. Выделенный из этих отложений спорозо-пыльцевой комплекс прослеживается в ряде скважин Припятского прогиба (Словечно, Н. Рудня, Движки, Глинка, Михедовичи) и характеризуется большим разнообразием видов по сравнению с нижележащим горизонтом. Здесь широко развиты такие виды, как *Dictyotriletes trivialis* Naum., *Archaeozonotriletes malevkensis* Naum. *A. macrospinosus* Jush. var. *punctatus* Jush. in litt., *Stenozonotriletes pumilus* Naum., *Lophozonotriletes malevkensis* Naum., *L. rarituberculatus* (Luber) comb. n. и другие виды, широко развитые по всей толще турнейских отложений. Приведенный комплекс спор сопоставляется со споровым комплексом из типичных малевко-мураевнинских слоев Подмосковья.

Отложения, содержащие спорово-пыльцевой комплекс верхнего горизонта малевко-мураевнинских слоев, в литологическом отношении по существу не отличаются от нижележащей толщи, и разграничить их почти невозможно. Что касается видового состава спор, то он уже в этой части разреза отражает близость к вышележащим горизонтам, а именно уже здесь появляются, хотя и в небольшом количестве, виды, характерные для упинских слоев, хотя последние пока не обнаружены в Припятском прогибе и, вероятнее всего, размыты. Наиболее характерными для этой части разреза являются: *Lophotriletes rugosus* Naum., *Dictyotriletes cancellatus* (Waltz) Naum., *D. trivialis* Naum., *Hymenozonotriletes malevkensis* Naum., *Archaeozonotriletes devonicus* Naum., *A. upensis* Naum., *A. macrospinosus* Jush. in litt., *Lophozonotriletes malevkensis* Naum. Кроме того, встречено большое количество и других форм, процентное содержание которых не сколько меньше по сравнению с приведенным выше. Таким образом, аналоги малевко-мураевнинских слоев, представляя в литологическом отношении довольно однообразную толщу, охарактеризованы различными по возрасту тремя спорово-пыльцевыми комплексами.

Чернышинский подъярус выявлен буровыми скважинами в дд. Движки, Н. Гостов, Н. Рудня, а также в Глинке, Роге, Копаткевичах, Ящицах и др.; мощность его колеблется от 5 до 70—100 м. Породы подъяруса сложены глинами, песчаниками и песками. Глины пестроцветные песчанистые, изредка косослоистые, встречаются жирные, плотные, с зеркалами скольжения. В глинах обуглившиеся растительные остатки образуют прослои угля. Песчаники серые, иногда розоватые, слабо сцементированные и крепкие мелкокристаллические, изредка слабо каолиновые или ожелез-



ненные, глинистые, кварцево-полевошпатовые с глинистыми прослоями. Пески серые, розоватые, мелкозернистые, кварцево-полевошпатовые, изредка уплотненные. По данным спорово-пыльцевого анализа в чернышинском подъярусе аналоги более древних собственно чернышинских слоев были установлены в Шатилковской впадине, а более молодых, кизеловских слоев — в Ельской впадине. В Шатилковской впадине (Рог, Глинка, Копаткевичи) выделенный спорово-пыльцевой комплекс характеризуется преобладанием таких видов, как *Acanthotriletes multisetus* (Luber) comb. n., *Dictyotriletes magnus* Naum., *Hymenozonotriletes pallidus* Naum., Н. aff. *subgranulatus* Naum., *Archaeozonotriletes compactus* Naum., *Stenozonotriletes insignis* Naum., *S. scabellus* Naum. Появляются уже в некотором количестве и виды, широко развитые в вышележащих горизонтах. Данный комплекс сопоставляется с комплексами из чернышинских слоев Подмосковья.

«Ожелезненная толща», выделяемая Р. М. Пистрак (<sup>3,4</sup>) в Ельской впадине, как показывают данные спорово-пыльцевого анализа, представляет собой не что иное, как верхнюю часть чернышинского подъяруса. В темноцветных глинах и песчаниках описанной толщи встречены обильные споры, среди которых преобладают *Lophotriletes minor* Naum., *Dictyotriletes trivialis* Naum., *D. magnus* Naum., *Hymenozonotriletes mactoreticulatus* Naum., Н. *submirabilis* (Luber) Jush. in litt., *Stenozonotriletes literatus* Naum., *Trilobozonotriletes turgidus* Naum., *T. inciso-trilobus* Naum. Установленный комплекс спор имеет широкое распространение в Ельской впадине, сходство его с кизеловским спорово-пыльцевым комплексом заставляет строить предположение о том, что вмещающие его отложения аналогичны кизеловским слоям Урала. В Ельской впадине кизеловские слои залегают с перерывом на отложениях малевко-мураевнинских слоев.

Каолиновая толща резко выделяется в разрезе нижнекаменноугольных отложений и распространена почти исключительно в Ельской впадине. Она вскрыта скважинами в дд. Движки, Н. Гостов, Ивановщина, Александровка, Н. Рудня, Березовка, в Ельске и в виде небольшого прослоя встречена в одной лишь скважине Шатилковской впадины (Муляровка). Ее мощность составляет свыше 440 м. Каолиновая толща, представляющая собой континентальные отложения, подстилается «ожелезненной толщей» турнейских отложений и покрывается заведомо тульскими отложениями визе. Контакт каолиновой толщи с тульскими горизонтами характеризуется резким несогласием: в кровле каолиновой толщи залегает довольно мощный прослой конгломерата или галечника из розового овручского кварцита (Словечно), а местами контакт представлен конгломератовой породой из глинистой гальки, грубозернистого песка и раздробленных обуглившихся растительных остатков (Движки) (<sup>2</sup>). Каолиновая толща сложена в основном глинами и песчанистыми породами. Глины белые и розовато-лиловых оттенков состоят почти полностью из чистого каолина; в значительном количестве здесь встречаются серые, темно-серые и черные плотные, обогащенные гумусовым веществом и раздробленными растительными остатками каолиновые глины. Встречаются и определимые растительные остатки в виде стигматий (*Stigmaria ficoides* Brong.), а также остатки, напоминающие *Lepidodendron*, *Sigillaria*. Среди глин встречается прослой угля и углистого сланца. В южной части Ельской впадины особенно широко среди глин распространены прослои песка и песчаника. Каолиновая толща полностью лишена фауны, но в темноцветных глинах и алевролитах, углях и углистых сланцах содержатся обильные, хорошо сохранившиеся споры и пыльца, благодаря которым толща получила свою палеоботаническую характеристику; подтвердилось и ее стратиграфическое положение в разрезе нижнего карбона. Спорово-пыльцевым анализом в каолиновой толще выявлено два спорово-пыльцевых комплекса — нижний и верхний. Нижний характеризуется наличием в его составе мелких спор, мелкобугорчатых и мелкошиповатых, реже шагреневых и сетчатых. При этом в руко-

водящий комплекс входит не больше 4—5 видов спор. Преобладающими видами здесь являются: *Lophotriletes minor* (Waltz) Naum., *L. rotundus* Naum., *L. rugosus* Naum., *Acanthotriletes rotundatus* Naum. in litt., *Retusotriletes multisetus* (Luber) comb. n. Выделенный комплекс хорошо прослеживается в ряде скважин Ельской впадины. Подобные комплексы, состоящие из мелких видов с простым строением, по-видимому, как наблюдается в практике спорово-пыльцевых исследований, отвечают основаниям стратиграфических горизонтов, что дает нам повод считать данный комплекс характерным для низов сталиногорского горизонта.

Наиболее характерными видами верхнего комплекса являются: *Euryzonotriletes trivialis* Naum., *E. macroreticulatus* Naum., *E. variabilis* Naum., *E. orbiculatus* (Waltz) Naum., *Trematozonotriletes variabilis* Naum., *T. gibberosus* Naum., *T. vulgaris* Naum., *T. goniacanthus* Naum., *T. punctatus* Naum., *Stenozonotriletes literatus* Naum., *Trilobozonotriletes inciso-trilobus* Naum. Подобные виды спор характерны для сталиногорских отложений Подмосковья и их аналогов, что дает право считать отложения, вмещающие данный комплекс спор, аналогами сталиногорского горизонта. Литологически наметить границу между слоями, содержащими выделенные два комплекса сталиногорского горизонта, пока очень трудно. В отдельных скважинах Ельской впадины таким горизонтом может служить мощный прослой песка.

Условия осадкообразования в турнейское и нижневизейское время в Припятском прогибе были, по-видимому, относительно однообразными. Обилие хорошо сохранившихся спор и характер вмещающих их пород свидетельствуют о том, что осадконакопление в малевко-муравинское и чернышинское время происходило в условиях континентального бассейна, вероятнее всего в прибрежной мелководной полосе, в условиях стоячих и слабо текучих вод. В нижневизейское, сталиногорское время дно продолжающего существовать континентального бассейна подвергалось частым осцилляциям, время от времени выходило из-под уровня вод, в результате чего образовались трещины усыхания, нередко наблюдаемые на поверхностях напластования.

Корневые системы растений (стигмари, ризоиды), обилие растительных остатков (в основном раздробленных), прослой угля и остатки спор и пыльцы — все это свидетели условий осадкообразования, подтверждающие предположение о накоплении осадков либо в условиях затопляемого побережья, либо вблизи береговой полосы в континентальном мелководном бассейне, где задерживался и скапливался в стоячих и медленно текущих водах растительный детрит, послуживший материалом для образования прослоев угля.

Институт геологических наук  
Академии наук БССР

Поступило  
25 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. К. Голубцов, ДАН, 97, № 1 (1954). <sup>2</sup> В. К. Голубцов, ДАН, 111, № 6 (1956). <sup>3</sup> В. К. Голубцов, Весті АН БССР, серия фіз.-техн. наук, № 3 (1956). <sup>4</sup> Р. М. Пистрак, Бюлл. МОИП, отд. геол., № 6 (1953). <sup>5</sup> Р. М. Пистрак, С. В. Семихатова, Е. И. Пашкевич, К. Н. Верейская, Изв. АН СССР, сер. геол., № 4 (1956).

М. В. КОРЖ

## К ВОПРОСУ О СТРАТИГРАФИИ ТРИАСОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ

(Представлено академиком Н. М. Страховым 25 III 1957)

Триасовые отложения широко представлены в Южном Приморье. Фаунистически охарактеризованные морские отложения нижнего и среднего триаса распространены в пределах южной части горной страны Сихотэ-Алинь и неизвестны севернее широты г. Ворошилова. Далее к северу устанавливаются осадки только верхнего триаса, представленные в угленосных и морских фациях.

Детальное изучение классических разрезов триаса по берегам Амурского и Уссурийского заливов, на о. Русском, Путятине, в бассейне рр. Шитухэ, Каменушки, Амба-Бирь, Б. Монгугая и др., а также послыйный сбор фауны, определения которой были сделаны Л. Д. Кипарисовой, позволили автору представить схему стратиграфии Южного Приморья в следующем виде

Нижний триас —  $T_1^*$

Индский ярус —  $T_1$

Горизонт базальных конгломератов —  $T_1^a$ . Повсеместно на территории Ю. Приморья разрез нижнетриасовых отложений начинается с базальных конгломератов, залегающих трансгрессивно и несогласно на осадочно-вулканогенных образованиях верхнего палеозоя: на пресноводно-континентальных отложениях перми (б. Абрек, о. Путятин), на верхнепермских гранитах (о-ва Русский, Аскольда), верхнепалеозойских известняках (р. Озерные Ключи) и т. д. В составе галек конгломератов присутствуют граниты, гранодиориты, кварцевые порфиры и их туфы, жильный кварц, органогенные известняки, разнообразные кремнистые породы, метаморфизованные песчаники, аргиллиты, кварциты и другие породы. В цементе конгломератов изредка встречается фауна: *Ophiceras nicolai*, *Gryoceras hexagonale*, *Gervillia exprorecta*, *Anodontophora canalensis*, определяющая нижнетриасовый возраст отложений. По своему стратиграфическому положению конгломераты нижнего триаса, по-видимому, соответствуют низам «*Otoceras beds*» Гималаев. Мощность горизонта непостоянна и изменяется от 150 м (м. Атласова) до 2,5 м (б. Абрек).

Микочерасовый горизонт —  $T_1^b$ . Конгломераты постоянно сменяются толщей однообразных зеленовато-серых мелкозернистых известковистых песчаников, содержащих многочисленные прослои и линзы органогенно-детритусовых известняков с фауной аммонитов: *Meekoceras subcristatum*, *M. boreale*, *Koninckites timorensis*, *Paranorites* sp., *Ussuria schamarae*, *Ophiceras sakuntala*, *Gyronites* sp.; пелеципод: *Eumorphotis multififormis*, *E. iwarowi*, *Pecten microtis*, *P. (Velopecten) minimus*, *P. (Velopecten) ussurica*, *Claria aurita*, *Anodontophora fassaensis*, *Myalina schamarae* и др. Название горизонта — микочерасовый — введено Л. Д. Кипарисовсй<sup>(1)</sup> в связи с тем, что род *Meekoceras* является руководящим

\* Деление нижнего триаса на ярусы дается по Л. Д. Кипарисовой и Ю. П. Попову<sup>(2)</sup>.



для этой части разреза нижнего триаса. Микоцерасовый горизонт Ю. Приморья по фауне хорошо сопоставляется с нижним цератитовым известняком и цератитовыми мергелями Соляного Кряжа, а также со слоями «Meekoceras beds» Гималаев. Мощность горизонта изменяется от 190 до 250 м.

Флемингитовый горизонт —  $T_1^{1b}$ . Выше микоцерасовых отложений залегает горизонт черных тонкослоистых глинистых сланцев и аргиллитов, получивший название флемингитового. Аргиллиты и глинистые сланцы содержат многочисленные конкреции пелитоморфного известняка и мергеля, а также руководящую фауну *Flemingites prynadai*, *Proptychites latifimbriatus*, *Pseudosagoceras multilobatum*, *P. schamarense* и др. По возрасту этот горизонт, по-видимому, соответствует цератитовому песчанику Соляного Кряжа, «Hedenstroemia beds» Гималаев и подзоне с *Pseudosagoceras multilobatum* Северной Америки (<sup>1</sup>). Мощность горизонта изменяется от 35 до 65 м.

Оленёкский ярус —  $T_1^a$

Субколумбитовый горизонт —  $T_1^{2a}$ . Заканчивается разрез нижнего триаса отложениями субколумбитового горизонта, представленного переслаиванием темно-серых и черных тонкослоистых песчаников, алевролитов и аргиллитов, содержащих многочисленные известковистые и мергелистые конкреции и редкие линзы органогенных известняков. Отложения богато охарактеризованы фауной *Subcolumbites multiformis*, *Megaphyllites immaturus*, *Paranannites suboviformis*, *P. gracilis*, *Pseudosagoceras longilobatum*, *P. simplex*, *Grypoceras ussuriense*, *Trematoceras*. Изредка встречаются растительные отпечатки *Pleuromeia sternbergii* и *Neosarlamites* sp. Вышеперечисленный комплекс родов аммонитов почти полностью известен в «Subcolumbites beds» Албании и характеризует самые верхние отложения нижнего триаса (<sup>1</sup>).

В отложениях субколумбитового горизонта б. Шмидта (о. Русский) автором помимо перечисленных форм впервые в Южном Приморье был найден род *Columbites* sp., ранее известный только из нижнетриасовых отложений Сев. Америки и Юго-Западного Китая. Поскольку фауна субколумбитового горизонта Ю. Приморья и Албании является более молодой, чем фауна зоны с *Columbites* Сев. Америки, не исключена возможность, что в будущем в оленёкском ярусе нижнего триаса Ю. Приморья по комплексу фауны будет выделен еще самостоятельный горизонт, отложения которого пока условно включаются нами в состав субколумбитового горизонта. Мощность последнего изменяется от 70 до 150 м.

Средний триас —  $T_2$

Анизийский ярус —  $T_2^1$

Горизонт полосчатых песчаников и алевролитов —  $T_2^{1a}$ . На отложениях субколумбитового горизонта вполне согласно залегают осадочные образования анизийского яруса среднего триаса. Представлены они характерными серыми полосчатыми полимиктовыми песчаниками и алевролитами, на плоскостях наложения которых наблюдаются отпечатки ходов червей, следы ползания бентосных животных и проблематичные отпечатки водорослей. Из отложений этого горизонта автором собрана фауна *Ptychites kokeni*, *Ptychites compressus*, *Sturia japonica*, *Ussurites sichoticus*, *Gymnites* (*Anagimnites*) sp., *Procladiscites* sp., *Acrochordiceras* sp., *Longobardites* sp., *Hungarites* sp. Перечисленный комплекс, по заключению Л. Д. Кипарисовой, характеризуется с большим сходством с анизийскими гималайскими видами тех же родов и особенно большим сходством с одновозрастной фауной Японии. Мощность горизонта 250—300 м.

Горизонт аркозовых кварцитовидных песчаников —  $T_2^{1b}$ . Стратиграфически выше полосчатых песчаников и алевролитов —  $T_2^{1b}$ .

олитов залегает толща однообразных белых и светло-серых разнотернистых аркозовых песчаников. Эти породы фаунистически охарактеризованы плохо, и лишь на о. Русском в основании горизонта автору удалось найти обломок аммонита *Ussurites sichoticus* Dien. Мощность горизонта изменяется от 100 м (о. Русский), до 500 м (бассейн рр. Почихезы, Батальянзы, Каменушки).

#### Ладинский ярус — $T_2^2$

Горизонт черных аргиллитов и глинистых сланцев (даонелловый горизонт) —  $T_2^{2a}$ . Горизонт аркозовых песчаников постепенно переходит в очень постоянный и широко распространенный в Ю. Приморье даонелловый горизонт, сложенный черными тонкослоистыми пиритизированными глинистыми сланцами и аргиллитами, содержащими крупные караванеобразные известковистые и мергелистые конкреции. Отложения охарактеризованы фауной пелеципод: *Daonella Kotoj*, *D. moussoni*, *D. densisulcata*, *Posidonia wengensis*, *Monotis* sp., и аммонитов: *Trachyceras furcatum*, *Xenodiscus middlemissi*. Мощность горизонта изменяется от 60 до 250 м.

Горизонт светло-серых аркозовых песчаников —  $T_2^{2b}$ . Завершается разрез среднего триаса мощным горизонтом светло-серых и белых грубозернистых аркозовых и кварцевых песчаников, содержащих флору плохой сохранности — *Podozamites* sp., *Neocalamites* sp. и обломки окаменевшей древесины. Прослеживаясь на десятки километров, он является прекрасным маркирующим горизонтом в толще триасовых отложений Ю. Приморья. Мощность изменяется от 160 м (м. Угольный) до 500 м (рр. Батальянза, Каменушка).

#### Верхний триас — $T_3$ Карнийский ярус — $T_3^1$

Нижняя монгугайская свита —  $T_2^{1a}$ . Разрез верхнего триаса начинается угленосными отложениями нижней монгугайской свиты, представленной различными по составу песчаниками (полимиктовыми, граувакковыми, туфогенными), алевролитами, углито-глинистыми сланцами и аргиллитами, содержащими пласты каменных углей и обильную флору. Последняя представлена богатым комплексом теплолюбивых растений, состоящим из папоротников *Hausmania ussuriense*, *Dactylophyllum japonicum*, *Clathropteris platyophylla*, *Camptopteris spiralis*, *Cladophlebis nebbensis*, *C. undulata*, *C. haiburnensis*, хвощевых *Neocalamites Carrerei*, *Equisitites strehophylla*; цикадофитов *Taeniopteris stenophylla*; гинкговых *Ginkgo sibirica* и хвойных *Podozamites mongugaicus*, *Pityophyllum longifolium*. Эта флора, по заключению В. Д. Принады и А. Н. Криштофовича <sup>(4)</sup>, обнаруживает большое сходство с одновозрастной флорой Тонкина в Индокитае, а также с флорой слоев Мамоноки и Асо в Японии и заметно отличается своим видовым составом от кейперской флоры Западной Европы. Средняя мощность свиты — 600 м.

Нижняя монотисовая свита —  $T_3^{1b}$ . Отложения нижней монгугайской свиты постепенно сменяются толщей морских терригенных образований нижней монотисовой свиты. Она представлена в основном туфогенными и полимиктовыми песчаниками и алевролитами, переполненными обугленным растительным детритусом и содержащими фауну: *Monotis scutiformis*, *Anaucella ussuriensis*, *Oxytoma zitteli*, *O. mojsisovisci*, *Pecten subniemalis*, *P. similis*, *T. kolymensis*, *Halobia zitteli*, *Pleuromya* sp., *Gryphae keilhau*, *Paleopharys buriji* и др. Комплекс фауны свидетельствует о верхнекарнийском возрасте отложений и имеет исключительное сходство с карнийской фауной севера и северо-востока Сибири и никаких общих черт — с ископаемыми фаунами средиземноморского типа <sup>(6)</sup>. Мощность свиты достигает 300 м.

Верхняя монгугайская свита —  $T_3^{2a}$ . Морские отложения карнийского яруса вновь постепенно сменяются угленосными образованиями, выделяемыми в Ю. Приморье под названием верхней монгугайской свиты. Представлена она переслаиванием туфогенных и граувакшковых песчаников, алевролитов, углисто-глинистых сланцев и изредка конгломератов. В средней части наблюдаются пласты угля, а по всему разрезу встречается обильная флора, по составу близкая комплексу флоры нижней монгугайской свиты. Однако, по мнению И. Н. Сребродольского, для верхней монгугайской свиты особенно характерно присутствие представителей семейства Dipteridaceae. Мощность свиты достигает 200 м. Что же касается возрастного положения свиты, то здесь мы полностью соглашаемся с выводами Л. Д. Кипарисовой<sup>(3)</sup> и включаем ее в состав норийского яруса.

Верхняя монотисовая свита —  $T_3^{2b}$ . Заканчивается разрез верхнего триаса морскими отложениями, известными в литературе (9) под названием верхней монотисовой свиты. Эти отложения распространены в Ю. Приморье ограниченно, так как в большинстве районов они оказались размытыми в послетриасовое время.

У д. Або свита представлена черными туфогенными песчаниками, алевролитами, туфосланцами, содержащими прослой перекристаллизованных пеплов и богатую, но однообразную фауну *Monotis ochotica* (Tell.) и *M. jasutica* (Tell.), свидетельствующую о верхненорийском возрасте отложений. Видимая мощность свиты изменяется от 20—25 до 100 м.

Вопрос о наличии в Ю. Приморье отложений рэтского яруса пока остается неясным. Указания В. З. Скорохода<sup>(6)</sup> на широкое развитие рэтских отложений в бассейне р. Супутинки дальнейшими исследованиями не подтвердились. По всей вероятности, за рэтские образования им ошибочно принимались отложения верхней монгугайской свиты, залегающие в этом районе на нижней монотисовой свите и перекрывающиеся юрскими отложениями с иноцерамами. В бассейне р. Перевозной (ключ Смольный) между отложениями с *Monotis ochotica* и юрскими отложениями, относимыми к аалену, залегают толща терригенных осадков, содержащая неопределенные растительные отпечатки и обугленный растительный детритус. Не исключена возможность, что эти отложения являются рэтскими, хотя некоторые геологи условно включают их в состав юры.

Институт нефти  
Академии наук СССР

Поступило  
20 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Л. Д. Кипарисова, ДАН, 49, № 6, 448 (1945). <sup>2</sup> Л. Д. Кипарисова, Ю. П. Попов, ДАН, 109, 845 (1956). <sup>3</sup> Л. Д. Кипарисова, Атлас фаун и флоры триасовых отложений Приморского края, М., 1954. <sup>4</sup> А. Н. Криштафович, Геологический обзор стран Дальнего Востока, М.—Л., 1932. <sup>5</sup> П. Н. Кропоткин, Вопросы геологии Азии, Изд. АН СССР, 1, 1954, стр. 736—765. <sup>6</sup> В. З. Скороход, Основные черты геологического строения Советского Дальнего Востока, Владивосток, 1941. <sup>7</sup> N. Newell, B. Kimmell, Bull. Geol. Soc. Am., 53, № 6, 938 (1942).



Г. МООР

## КИМБЕРЛИТОПОДОБНЫЕ ПОРОДЫ С КСЕНОЛИТАМИ ГНЕЙСОВ АРХЕЯ ИЗ СЕВЕРНОЙ ОКРАИНЫ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 30 III 1957)

Северная окраина Сибирской платформенной области, орошаемая нижним течением рр. Котуй и Меймеча, начиная с 1940 г. привлекает к себе внимание в силу находок на ее территории редких и своеобразных щелочных и ультраосновных пород. Здесь обнаружен ряд заметных по площади интрузивных массивов, сложенных оливинитами и ийолитмельтейгитами, также обширные поля и многочисленные жильные тела щелочных базальтоидов — нефелитов, нефелитовых базальтов, авгититов и др. В последнее время автором этих строк в нижнем течении р. Котуй встречены жилы, сложенные альнеитоподобными породами, содержащими многочисленные ксенолиты гиперстеновых гнейсов и анортозитов из архейского основания Сибирской платформы, а также долеритов, известняков, доломитов и др. Эти жильные тела представляют определенный интерес в связи с находками в северо-восточной части платформы типичных кимберлитов с характерным комплексом минералов, брекчиевидной структурой и рядом других особенностей, столь типичных для южноафриканских представителей этой группы пород. Поскольку выходы альнеитоподобных пород располагаются на расстоянии свыше 1000 км к северо-западу от известных к настоящему моменту кимберлитовых трубок, они заслуживают внимания в качестве указания на возможность проявления в пределах северной окраины Сибирской платформы жерловых фаций щелочных базальтоидов, а в этой связи и находок здесь трубчатых тел кимберлитов.

Альнеитоподобные породы, содержащие ксенолиты архейских гнейсов анортозитов, были встречены на участке нижнего течения р. Котуй — между устьями рр. Киндыш и Поткуй; они обнаружены близ устья р. Челно-грях на правом берегу р. Котуй и на левом берегу этой реки, несколько ниже устья р. Эгелях. В первом из перечисленных пунктов альнеитоподобные породы слагают несколько маломощных (до 1 м, в одном случае до 4 м) жильных тел в доломитах киндынской свиты; можно думать, что они представляют вертикальные жилы, имеющие северо-западное простирание, форма их неправильная, с раздувами и пережимами. Жилы аналогичных пород, обнаруженные ниже устья р. Эгелях, располагаются среди термских песчаников; в 2,5 км от впадения этой реки в р. Котуй встречены две жилы, мощностью соответственно 2 м и 0,3 м, имеющие восточно-северо-восточное простирание; на отдельных участках более мощная жила имеет падение на юго-восток под углом  $70^\circ$ , наконец в 3 км ниже по течению р. Котуй обнаружена вертикальная жила альнеитоподобной породы мощностью 10 м, имеющая северо-восточное простирание. По простиранию эти жилы прослеживаются на расстояние 15—30 м.

Наиболее характерной чертой жильных тел щелочных базальтоидов, перечисленных выше, является наличие в них многочисленных мелких (2—3 см, редко 4—6 см), округлых включений. Последние представлены гиперстено- и плагиоклазовыми кристаллическими сланцами и анортозитами,

значительно реже — известняками, доломитами, долеритами и габбро-долеритами, а также породами, близкими к пикритовым порфирирам и нефелинитам. Включения в силу их большей устойчивости по отношению к эрозии ясно выделяются на поверхности вмещающих их щелочных базальтоидов.

Жильные тела образованы альеитоподобной породой, близкой к уацититу. Структура породы порфиробластическая, вкрапленники образованы диопсидом, флогопитом и оливином; основная масса сложена мелкими зернами этих минералов, а также нефелином, в значительной части замещенным цеолитами, мелкими призмами мелилита, полностью превращенным в агрегат низкодвупреломляющего цеболлита; в виде идиоморфных зерен присутствуют меланит, перовскит, окрашенный в коричнево-бурый цвет титаномagnetит. Кроме того в составе основной массы широко развиты серпентин и кальцит.

Пироксен вкрапленников окрашен в слабо-зеленоватый цвет, характеризуется  $cN_g = 50^\circ$ ,  $2V = +56^\circ$ ,  $N_p = 1,684$ ,  $N_g = 1,714$  и отвечает диопсид-геденбергиту; иногда он зонален, с углом угасания ( $cN_g$ ) для ядра  $55^\circ$  и для периферии  $63^\circ$  и в этом случае содержит небольшую примесь эгиринового компонента. В пироксене наблюдаются многочисленные мелкие включения слюды и рудного минерала. Флогопит почти одноосный с  $N_g = N_m = 1,596$ , обладает отчетливым плеохроизмом:  $N_p$  — бесцветный,  $N_g$  — светло-оранжевый; в ряде случаев он обнаруживает зональное распределение окраски — края пластинок более густо окрашены и имеют на периферии турмалиновую схему абсорбции. Оливин развит в крупных зернах; он свеж и лишь по трещинам вдоль периферии кое-где замещается серпентином; по оптическим данным ( $2V = -86^\circ$ ,  $N_p = 1,670$ ,  $N_g = 1,70$ ) оливин содержит около 16% фаялитового компонента.

Все вкрапленники имеют лапчатые, изъеденные очертания; особенно характерны они для флогопита, основной массы, который является самым поздним по времени выделения минералом, развивающимся на стыке других зерен.

Наиболее широко среди ксенолитов представлены породы архейского основания Сибирской платформы.

Гиперстен-плаггиоклазовые кристаллические сланцы обладают ясно выраженной параллельной текстурой и мезократовым обликом; цветные минералы составляют до 30% породы. Главными минералами являются плаггиоклаз (№ 45—50), гиперстен и моноклинный пироксен. Зерна гиперстена по большей части имеют округлую форму и окружены тонкой реакционной каймой, сложенной зеленоватой роговой обманкой; для него характерен отчетливый плеохроизм; по  $N_p$  — голубовато-зеленоватая окраска, по  $N_g$  — розоватая; оптические данные:  $2V = -56^\circ$ ,  $N_p = 1,706$  и  $N_g = 1,716$  указывают на наличие в его составе 42% железистого компонента. Моноклинный пироксен окрашен в слабый зеленоватый цвет и характеризуется следующими оптическими константами:  $cN_g = 46^\circ$ ,  $2V = +50^\circ$ ; для него характерно наличие полисинтетических двойников. В подчиненном количестве в составе породы отмечаются не крупные округлые зерна темно-зеленой шпинели и рудного минерала, вокруг которого развиваются мелкие пластинки оранжево-бурого биотита.

Анортозиты представляют крупнозернистые, светлоокрашенные породы почти нацело состоящие из основного плаггиоклаза (№№ 58—63); структура породы аллотриоморфная. Весьма подчиненную роль в ее составе играют гиперстен и диопсид; крайне редко в виде мелких зерен наблюдаются кварц и биотит, в качестве акцессорного минерала присутствует апатит.

Габбро-долериты имеют среднезернистое сложение и обладают габбро-офитовой структурой: плаггиоклаз (№№ 65—70) развит в широких, слегка вытянутых таблицах, моноклинный пироксен и оливин — в изометрических или округлых зернах; первый из этих минералов обладает  $cN_g = 47^\circ$  и  $2V = +58^\circ$ , что указывает на принадлежность его к авгиту. Оливин

характеризуется  $2V = -80^\circ$ , что отвечает содержанию фаялитового компонента около 35%. Изредка в составе габбро-долеритов отмечаются мелкие пластинки оранжевого биотита, обычно обрастающие моноклинный пироксен, аксессуарное значение имеет магнетит, развитый в мелких зернах.

Долериты являются мелкозернистыми породами интерсертальной структуры, в отдельных участках переходящей в долеритовую. Они образованы плагиоклазом, развитым в двух генерациях: фенокристы — относительно крупные ( $1 \times 0,2$  мм) кристаллы лабрадор-битовнита (№ 72) и основная масса — мелкие ( $0,1 \times 0,01$  мм) таблички, отвечающие лабрадору (№ 62). Моноклинный пироксен представлен мелкими округлыми зернами и, судя по оптическим данным ( $cN_g = 42^\circ$ ;  $2V = +46^\circ$ , приближается к энстатит-авгиту.

Породы, близкие к пикритовым порфирирам, сложены магнезиальным оливином ( $N_p = 1,661$ ,  $N_g = 1,701$ ), содержащим около 15% фаялитового компонента. В промежутках между идиоморфными зернами оливина широко развит изотропный эмалевидный серпентин, мелкие пластинки бледно-окрашенного флогопита, ксеноморфные выделения кальцита, мелкие кристаллики титаномagnetита и перовскита.

Нефелиниты образованы мелкими призмами моноклинного пироксена ( $cN_g = 58^\circ$ ), нефелином, выполняющим интерстиции между ними и превращенным в главной своей массе в цеолиты, бурым стеклом, мельчайшими пластинками биотита и мелкими идиоморфными зернами титаномagnetита. Крупные фенокристы пироксена, окрашенного в розоватый цвет, иногда зональны и характеризуются следующими оптическими константами (ядро  $cN_g = 35^\circ$ ,  $2V = +60^\circ$ ; периферия  $cN_g = 45^\circ$ ;  $2V = +56^\circ$ ,  $N_p = 1,715$ ,  $N_g = 1,741$ . Многочисленные миндалины выполнены натролитом ( $N = 1,489$ ).

Наконец, в единственном случае, был встречен мелкий (до 2 см) обломок сильно измененной породы, которая, скорее всего, может быть отнесена к эгирин-авгитовому сиениту; последний сложен крупными, сильно пелитизированными зернами калиевого полевого шпата и мелкими призмами слабо зеленоватого пироксена, с  $cN_g = 48^\circ$ ; местами последний превращен в агрегат зеленоватой роговой обманки.

Приведенное описание показывает, что альнеитоподобные породы р. Котуй содержат весьма разнообразные по составу ксенолиты; здесь присутствуют породы архейского основания Сибирской платформы — гиперстен-плагиоклазовые кристаллические сланцы и анортозиты, доломиты и известняки древнего палеозоя, долериты и габбро-долериты триаса, скорее всего нижнего, и наконец, эгирин-авгитовые сиениты, также принадлежащие триасу. Следует подчеркнуть, что эгириновые сиениты относятся к одной из наиболее молодых фаз магматического цикла нижнего течения р. Котуй. Таким образом, имеются основания считать альнеитоподобные породы одним из самых поздних проявлений магматизма Котуйского района.

Наличие ксенолитов архейских и других пород свидетельствует, по-видимому, о взрывном характере внедрения жильных тел. Следует думать, что магматический расплав, давший начало этим жилам, происходит из больших глубин, и образование его связано с глубокими трещинами в земной коре. Некоторое представление о глубине заложения этих жил можно получить, если учесть, что мощность осадочных отложений в нижнем течении р. Котуй, перекрывающих архейский кристаллический фундамент Сибирской платформы, достигает 4—4,5 км.

Находки альнеитоподобных пород и близких к ним магматических образований, содержащих ксенолиты анортозитов и кристаллических сланцев архея, представляют несомненный интерес в отношении указаний на возможность обнаружения на севере Сибирской платформенной области кимберлитовых трубок; на это указывает близость петрографического состава и особенностей химизма альнеитов и кимберлитов; как известно, первые из этих пород принадлежат к группе щелочных базальтоидов,



одним из представителей которых, по современным взглядам, являются кимберлиты.

В районе нижнего течения р. Котуй щелочные базальтоиды, нефелиниты, нефелиновые базальты, авгититы, лимбургиты и др. развиты весьма широко. В жильной фации здесь также обнаружены мелилитовые базальты — породы, по химическому составу наиболее близко стоящие к кимберлитам. Таким образом, спутники кимберлитов в этом районе уже известны. Можно надеяться, что дальнейшие целеустремленные поиски приведут к обнаружению здесь и типичных кимберлитов, представленных жерловыми фациями; известным указанием в этом отношении являются находки жильных тел с ксенолитами архейских пород, описанные выше.

Научно-исследовательский институт  
геологии Арктики

Поступило  
28 III 1957

М. Г. РАВИЧ и Д. С. СОЛОВЬЕВ

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ ОАЗИСА БАНГЕРА В ВОСТОЧНОЙ АНТАРКТИДЕ

(Представлено академиком Д. И. Щербаковым 5 VI 1957)

Антарктическим летом, в период с 29 декабря 1956 г. по 28 февраля 1957 г., авторами была произведена геологическая съемка оазиса и его окрестностей в масштабе 1 : 100 000. Полученные полевые материалы позволяют охарактеризовать значительную часть разреза архейского комплекса Восточной Антарктиды, видимая мощность которого в оазисе составляет не менее 12 км.

Первые сведения о геологическом строении оазиса, открытого в феврале 1947 г. американским пилотом Д. Э. Бангером, приведены в статье О. С. Вялова и П. С. Воронова<sup>(1)</sup>. Основанные на кратковременном посещении оазиса в январе 1956 г., эти сведения являются весьма скудными. Поэтому мы полагаем необходимым сообщить предварительные итоги геологической съемки, еще до обработки полевых материалов, так как они коренным образом меняют существующее представление о докембрии региона. Тем более, что в районе работ Советской Антарктической экспедиции, расположенном между 80° и 110° восточной долготы и протягивающимся на 1500 км вдоль побережья Индийского океана, оазис Бангера является единственной крупной территорией, отличающейся исключительно хорошей обнаженностью архейского комплекса.

Оазис Бангера и прилегающие к нему с севера многочисленные острова расположены между 65°50'—66°20' ю. ш. и 100°30'—101°70' в. д. Они представляют собой архипелаг, соединенный с материком шельфовым ледником Шеклтона и омываемый с севера водами Индийского океана. Площадь суши в этом архипелаге составляет около 350 км<sup>2</sup>, из которых 200 км<sup>2</sup> приходится на долю самого крупного острова — собственно оазиса Бангера. В 40 км к ЮЗ от оазиса Бангера, среди ледника, возвышается группа скалистых сопков, разобренных ледниковыми перемычками, которая представляет собой новый зарождающийся оазис, площадью около 50 км<sup>2</sup>, названный нами именем академика В. А. Обручева.

Оазис Бангера состоит преимущественно из невысоких скалистых сопков, абсолютной высотой в 100—150 м, редко в 180 м. Между сопками расположены узкие долины, выполненные ледниковыми моренами, среди которых преобладают валуны местных пород, но нередко встречаются экзотические валуны преимущественно гранитов типа рапакиви. Только в юго-западной части оазиса развиты широкие долины, заполненные рыхлыми отложениями, окруженные пологими холмами высотой в 60—70 м, склоны которых покрыты элювиально-делювиальными россыпями. В долинах развиты цепочки мелких озер. Единственное крупное озеро Фигурное, протяжением более 20 км, расположено вдоль сравнительно молодого мощного разлома. Все формы рельефа обусловлены ледниковой деятельностью, причем сопки вытянуты вдоль простираения гнейсов, а долины между ними — вдоль многочисленных тектонических разломов.

Лето в оазисе, когда температура воздуха в дневное время колеблется

от  $+1^{\circ}$  до  $+6^{\circ}$ , длится с начала декабря до конца февраля. Снежный покров в этот период отсутствует. Впрочем, и в остальные времена года, несмотря на низкие отрицательные температуры, снег сдувается с сопок очень сильными ветрами. Последние нередки и в летний период; скорость их колеблется от 15 до 35 м/сек. Благодаря исключительной сухости воздуха осадки выпадают редко и в летнее время почти неизвестны. Называть участок с подобными климатическими условиями оазисом можно лишь весьма условно. Более удачным является название «холодная каменистая пустыня».

В геологическом строении оазиса принимают участие разнообразные кристаллические сланцы и гнейсы, в большинстве своем интенсивно мигматизированные, метаморфизованные основные магматические породы и интрузии пироксеновых гранитоидов (чарнокитов). Все перечисленные породы относятся к архею, вероятно, к его верхней половине. Архейский комплекс рассекается дайками долеритов, по-видимому, раннемезозойского возраста. Значительное развитие имеют четвертичные отложения, представленные ледниковыми и флювиогляциальными образованиями. Исключительно сложна тектоника района из-за наличия многочисленных разломов, нарушивших более ранние пликативные структуры.

Кристаллические сланцы и меланократовые гнейсы по составу и исходному материалу пока, до их специального изучения, могут быть объединены в три семейства: 1. Среднезернистые гранато-биотитовые, силлиманито-гранато-биотитовые и кордиерито-гранатовые кристаллические сланцы и гнейсы с мощными прослоями гранатовых кварцитов. Они, по-видимому, произошли за счет кварцевых и аркозовых песчаников, а также глинистых сланцев, отчего значительно обогащены кремнием и алюминием. 2. Мелко- и среднезернистые двухпироксеновые и биотито-пироксеновые кристаллические сланцы и гнейсы, вероятно преимущественно образованные за счет полимиктовых и граувакковых песчаников с железистым и карбонатным цементом, а также за счет мергелистых пород, отчего они обогащены известью, магнием и железом. 3. Крупнозернистые амфиболо-диопсидовые породы и мраморы местами с форстеритом и флогопитом, являющиеся продуктами метаморфизма карбонатных и мергелистых осадков.

Первые два семейства образуют самостоятельные толщи мощностью в несколько километров каждая, раздельно слагающие значительные участки района. Так, юго-западная часть оазиса Бангера преимущественно сложена пироксеновыми кристаллическими сланцами, а некоторые крупные острова на севере района (о. Томаса и др.) — исключительно гранато-биотитовыми кристаллическими сланцами. При этом пачки гранатовых кварцитов и гнейсов нередко зажаты в тектонических клиньях среди пироксеновых кристаллических сланцев. Амфиболо-диопсидовые породы встречаются только среди мигматизированных гранато-биотитовых кристаллических сланцев, чаще всего в виде разорванных и будинированных пластов мощностью от единиц до десятков метров.

Среди толщ кристаллических сланцев нередко встречаются согласные тела пироксеновых амфиболитов, мощностью от 3—5 м до 100 м, прослеженные по простиранию на сотни метров, а иногда и на несколько километров. Подобные тела часто будинированы и разбщены на неправильные линзы. При общей интенсивной мигматизации вмещающих кристаллических сланцев эти тела едва мигматизированы, с образованием местами неотчетливых агматитов. Весьма вероятно происхождение подобных тел амфиболитов за счет основных магматических пород, внедрившихся в седиментогенную толщу еще до ее регионального метаморфизма и уже вместе с осадками превращенных в кристаллические сланцы.

Подавляющая масса кристаллических сланцев и гнейсов мигматизирована, особенно интенсивно гранатосодержащие породы, превращенные в тонко-послойные мигматиты, нередко осложненные узорами пегматитов. Пироксеновые кристаллические сланцы чаще почти совсем не мигматизированы и реже превращены в грубо-послойные мигматиты. Однако те и



другие нередко преобразованы в теневые мигматиты, по облику напоминающие гранито-гнейсы, с пунктирными полосами субстрата, состава аналогичного кристаллическим сланцам, за счет которых они образовались. Инъекционный материал состоит преимущественно из мелкозернистого лейкогранита, реже пегматоидного и совсем редко — аплитовидного гранита. Особое положение занимают тонко-послойные породы с кварцевой инъекцией, располагающиеся, как правило, на периферии мощных мигматитовых полей.

Мигматизация происходила в два этапа и сопровождалась различным составом инъекционного материала. Для мигматизации раннего этапа характерна инъекция светло-серовато-желтоватого лейкогранита, сопутствующая пегматитовыми жилами с амфиболом и биотитом, а также безрудными жилами светло-серого и молочно-белого кварца. В поздний этап происходила инъекция бело-розового лейкогранита в сопровождении жил розового пегматита с биотитом и магнетитом, а также пиритизированных жил серовато-голубоватого кварца. Для пироксеновых кристаллических сланцев более типична ранняя инъекция светло-серого лейкогранита при слабом развитии розовых лейкогранитов. В гранатовых кристаллических сланцах мигматизация связана с обоими этапами, в результате чего образуются полимigmatиты. Субстрат в мигматитах представлен частично перекристаллизованными минералами соответствующих кристаллических сланцев. Количество субстрата в среднем равно количеству инъекционного материала. При уменьшении последнего до 10—15% мигматиты становятся неотчетливыми и такую породу предпочтительнее называть инъекционным гнейсом. При увеличении объема инъекционного материала до 80—90% образуются теневые мигматиты, которые всегда дают совершенно постепенные переходы к послойным мигматитам.

Пегматитовые и кварцевые жилы, сопутствующие мигматитам, чаще всего имеют секущий характер, обычно под небольшим углом к вмещающим кристаллическим сланцам. Мощность жил самая разнообразная — от 20—30 см до 10—15 м. Чаще встречаются жилы мощностью в 1—3 м, прослеживаемые по простиранию на десятки и реже сотни метров. Жилы, как правило, нарушены разломами, местами разорваны, закручены и размочалены, а породы их ближайшего окружения катаклазированы. Маломощные жилы сложены пегматоидным гранитом. Для более мощных жил характерно зональное строение, при котором периферические части состоят из гипсового гранита, а центральные — из крупных кристаллов микроклина, проросших ихтиоглиптами кварца.

В оазисе Бангера обнаружены два массива чарнокитов, площадью в 15 и 30 км<sup>2</sup>, лишь частично обнажающиеся из-под ледникового покрова на окраях оазиса. Эти массивы моложе мигматизированных кристаллических сланцев и сами никогда не бывают мигматизированными. Характер контактов их с кристаллическими сланцами весьма неодинаков. Но важно, что местами наблюдаются типичные секущие контакты. Намечается приуроченность массивов к осевой плоскости центральной складчатой структуры оазиса. Массивы сложены преимущественно крупнозернистыми гранодиоритами и диоритами, в которых цветные минералы представлены пироксеном и биотитом. В периферических частях интрузий, среди более мелкозернистых пород, обильны ксенолиты кристаллических сланцев, составляющие до 15% объема интрузивных пород. Ксенолиты частично перекристаллизованы и окружены меланократовой биотито-магнетитовой второчкой. В связи с чарнокитовыми интрузиями известны лишь маломощные аплитовые и пегматитовые жилки, концентрирующиеся преимущественно в теле самих интрузий. Отдельные участки интрузий сложены катаклазированными породами.

Дайки долеритов рассекают как мигматизированные кристаллические сланцы, так и массивы чарнокитов. По положению совершенно подобных даек и силл долеритов в свите «Бикон» на земле Южной Виктории возраст

их определяется не древнее верхнего триаса. Дайки имеют выдержанное северо-западное простирание в пределах  $290-320^\circ$ . В большинстве случаев нетрудно установить, что они расположены вдоль разломов в жестких архейских породах. По величине и отчасти составу дайки могут быть разделены на три группы: 1. Дайки мощностью 100—150 м, простирающиеся на десятки километров, сложенные преимущественно габбро-долеритами, с закаленной каймой долерит-порфириров в эндоконтактах шириной в 40—50 см. Пока обнаружена одна такая дайка, пересекающая с СЗ на ЮВ весь оазис Бангера. 2. Дайки мощностью в 20—30 м, простирающиеся на несколько километров, сложенные средне- и крупнозернистыми долеритами с закаленной каймой шириной в 10—15 см. Подобные дайки наиболее распространены и при съемке оазиса их обнаружено около двадцати. 3. Дайки мощностью 1—5 м, простирающиеся до 1 км, сложенные мелкозернистыми долеритами, с ничтожной закаленной каймой шириною 3—5 см. Количество подобных даек измеряется многими десятками. Часто они сопутствуют более крупным дайкам, образуя своеобразные кусты даек. Долериты насыщены магнетитом, спорадически в них встречается вкрапленность пирита и пирротина. Местами дайки разбиты молодыми разломами на блоки, вдоль которых кое-где образуются маломощные зоны катаклазированных долеритов.

Преобладающие элементы залегания кристаллических сланцев в оазисе Бангера характеризуются широтными и близкими к ним простираниями. Только в центральной части оазиса господствуют субмеридиональные простирания, появившиеся в связи с наличием здесь крупной складчатой структуры, сильно нарушенной разломами. Ось этой структуры имеет северо-восточное простирание и погружается на ЮЗ. Такая же крупная структура частично обнажается из-под ледникового покрова в северной половине оазиса Обручева. Амплитуды подобных складок превышают 10 км. Они, вероятно, являются древнейшими пликативными структурами района, которые осложнены многочисленными мелкими и крутыми, часто изоклинальными складками с размахом крыльев в сотни метров. Оси мелких складок, как правило, совпадают с простиранием пород. Подобные складки наблюдаются непосредственно в многочисленных обнажениях. Падения слоев в крыльях мелких складок крутые, иногда вертикальные. Пологие залегания с углами падения слоев кристаллических сланцев в  $20-30^\circ$  встречаются лишь на флангах крупных структур, свободных от вторичных мелких складок.

Весьма многочисленные разломы, относящиеся к трем системам, разбили толщи кристаллических сланцев на сравнительно небольшие блоки и клинья, часто повернутые друг относительно друга, отчего наблюдается различие в элементах залегания даже в двух соседних блоках. Все разломы образовались, вероятно, на заключительных этапах архейских тектонических движений, но впоследствии неоднократно подновлялись в жестких архейских складчатых сооружениях, в результате чего дайки долеритов разбиты на отдельные блоки. Наиболее многочисленны широтные и субширотные разломы, совпадающие с простиранием пород.

Самыми мощными являются разломы северо-западного простирания, вдоль которых развиты почти вертикально падающие зоны милонитов мощностью от 1—2 до 25—30 м. Эти разломы используются дайками долеритов и вероятно являются более поздними, чем первые.

Наименее мощны субмеридиональные разломы, которые нередко являются трещинами оперения мощных северо-западных разломов. Разломы препятствуют восстановлению нормального залегания пород в их стратиграфической последовательности.

Антарктическая экспедиция  
Академии наук СССР

Поступило  
7 VI 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> О. С. В я л о в, П. С. В о р о н о в, ДАН, 108, № 5 (1956).

М. А. СЕМИХАТОВ

## К СТРАТИГРАФИИ АЛДАНСКОГО ЯРУСА НИЖНЕГО КЕМБРИЯ КАНСКО-АНГАРСКОЙ ВПАДИНЫ

(Представлено академиком Н. С. Шатским 29 III 1957)

Несмотря на многочисленные работы, в которых описаны нижнекембрийские отложения отдельных районов Канско-Ангарской впадины, до настоящего времени не было попыток детально сопоставить разрезы этих отложений всей впадины и проследить их фациальные изменения. Такая попытка предпринята автором, изучившим в 1956 г. основные разрезы нижнего кембрия всей полосы его развития от окрестностей г. Канска на юге до р. Иркинеева на северо-востоке. Ниже излагаются данные по стратиграфии отложений алданского яруса.

В низовьях р. Иркинеева описываемые отложения представлены 250-метровой толщей мелко- и среднезернистых кварцевых косослоистых вишнево-красных и бурых песчаников нередко с рассеянной галькой кварца 0,2—2,0 см. Примерно в середине этой монотонной толщи выделяется 20—25-метровая пачка серых и зеленовато-серых, местами с вишнево-красными полосами, мелкозернистых песчаников, переслаивающихся с зеленовато-серыми аргиллитами или мергелями, а иногда и доломитами. Породы образуют прослои в 20—40 см; в верхней части некоторых прослоев песчаника у д. Чугумей наблюдаются линзовидные обособления гематита в 1—2 см.

Описанная толща с угловым несогласием налегает на различные свиты верхнего протерозоя от погоруйской до джурской включительно, а вверх постепенно переходит в карбонатную толщу, в средней части которой найдены *Bulaiaspis vologdini* Lerm. и *B. taseevicus* Rep. (4).

Близко к описанному строение рассматриваемых отложений по р. Н. Теря у устья р. Чегошага.

Несколько иначе построен разрез алданского яруса по левому берегу Ангары, ниже д. Маньзя, у о. Коваль. Здесь на доломиты джурской свиты верхнего протерозоя со следами размыва и угловым несогласием налегает 130-метровая пачка глинистых слюдистых вишнево-красных алевролитов. в верхней части с прослоями и отдельными мощными пакетами разномзернистых кварцевых песчаников, обогащенных галькой кварца и алевролитов в 1—1,5 см. Выше следуют зеленовато-серые кварцево-палевошпатовые слюдистые песчаники, разделенные на слои в 7—10 см в нижней части прослойками в 2—10 см серых известковистых аргиллитов (иногда мергелей), а в верхней — пакетами в 0,5—1,0 м частого переслаивания таких же песчаников и аргиллитов. Мощность этих пород 50 м. На них налегают красно-бурые известковистые глинистые алевролиты мощностью 70 м с прослоями песчаников в нижней части и тонкими пластинами серых мергелистых известняков — в верхней. Венчает разрез пачка в 80—100 м красно-бурых мелкозернистых кварцевых слюдистых песчаников, выше которой залегают карбонатные породы ленского яруса. Мощность охарактеризованных терригенных пород 350 м.

К западу от о. Коваль мощность списываемых отложений резко возра-



стает и несколько меняется их литологический состав. По левому берегу Ангары в 6 км выше устья р. Пай и на водоразделе этих рек на сланцах шунтарской свиты несогласно залегают (снизу вверх):

1) песчаники вишнево-красные, среднезернистые, преимущественно кварцевые, в верхней части с рассеянной галькой кварца в 2—5 мм . . . . . мощность 160—170 м

2) чередование прослоев в 25—50 см песчаников серых, мелкозернистых, полимиктовых и мергелей грязно-серых, глинистых, слюди-стых, песчаных, иногда переходящих в мергелистые известняки; . . . . . мощность 90 м;

3) песчаники, близкие к слою 1 . . . . . мощность 50 м;

4) алевролиты сургучно-красные, слюдистые, известковистые с прерывистыми прослойками в 0,2—0,5 см и отдельными более мощными пластами песчаника, как в слое 1 . . . . . мощность 80—100 м;

5) песчаники, близкие к слою 1, в нижней части обогащенные плоской галькой алевролитов, как в слое 4, а в средней, кроме того, галькой кварцитов и кварца в 1—3 см . . . . . мощность 300 м.

Мощность описанных пород 700 м. Выше залегают доломиты и известняки ленского яруса. К юго-западу от приведенного разреза количество и размер галек в породах слоя 5 увеличивается, и среди поля развития песчаников картируется полоса конгломератов. Галька последних хорошо окатана, размером от 1 до 10 см (редко до 15 см), представлена кварцитами, кварцем и иногда доломитом и алевролитом. Мощность конгломератов 50—70 м. По простиранию они прослеживаются на несколько километров от верховьев рч. Тузиков до правобережья р. Кокуй. В долине р. Кокуй конгломератов в составе описываемых отложений нет, и под доломитами ленского яруса здесь вскрывается 350—400-метровая пачка, аналогичная слою 5 приведенного разреза, и пачка алевролитов видимой мощностью в 150—180 м (аналог слоя 4). У пос. Бык пласты мелкогалечниковых конгломератов появляются и среди песчаников нижней пачки (слой 1). Галька их размером в 2—3 см представлена гематитом, гематитовыми песчаниками и более редкими кварцитами.

Один из лучших разрезов рассматриваемых пород вскрывается по правому берегу Ангары выше Гребенского Быка против о. Шалыга. Здесь выделяются 5 пачек, по своему строению и последовательности аналогичных описанным в разрезе выше устья р. Пай. Мощности их (сверху вниз): 400, 180, 240, 200 и 100 м (видимая). Общая видимая мощность — около 1100 м. Как и в более восточных районах, все пачки связаны между собой постепенными переходами.

Так же построен разрез алданского яруса по р. Тасеева у устья р. Усолка. В основании его залегают вишнево-красные мелкозернистые песчаники с прослоями алевролитов видимой мощностью 700—800 м (основание не вскрыто). Они перекрываются 280-метровой пачкой серых и зеленовато-серых мелкозернистых песчаников и глинистых сланцев и мергелей, среди которых встречаются единичные прослои доломитов. Выше залегают малиново-красные мелкозернистые слюдистые песчаники (250 м) сургучно-красные известковистые алевролиты (200 м) и красно-бурые и розовато-серые песчаники (видимая мощность 350 м) с рассеянной галькой кварца и алевролитов и отдельными линзами (в 2—4 м) конгломератов с галькой кварцитов, кварца и иногда гематита размером 1—3 см.

Описанные отложения в нижнем Приангарье залегают на различных свитах верхнего протерозоя и связаны постепенными переходами вышележащей карбонатной толщей, в средней части которой содержатся руководящие ископаемые толбочанского горизонта ленского яруса (1). Эти данные и сопоставления с другими районами Сибирской платформы позволяют вслед за большинством исследователей относить описываемые отложения к алданскому ярусу.

Сравнивая приведенные разрезы, не трудно заметить, что в них выде-

ляется три толщи (снизу вверх): 1) красноцветные песчаники, иногда алевролитами; 2) серые песчаники, переслаивающиеся с аргиллитами, мергелями, а иногда с карбонатами; 3) красноцветные песчаники и алевролиты, на западе расчленяющиеся более мелко и содержащие линзы конгломератов.

Эти подразделения установил в 1938 г. А. А. Предтеченский по р. Тасеева у устья Усолки. Г. И. Кириченко<sup>(3)</sup> описал сероцветную пачку по р. Ангаре у Гребенского Быка. По его мнению, она залегает в основании алданского яруса. Автором настоящей статьи все три упомянутые подразделения прослежены в нижнем Приангарье на 130—150 км, что позволяет считать их достаточно выдержанными свитами. По местам лучших разрезов эти свиты можно назвать (снизу вверх): 1) ковальская, 2) алешинская и 3) шалыгинская. От р. Тасеева алданские отложения протягиваются к югу, вдоль восточной окраины Южно-Енисейского кряжа. В верховьях р. Шилки, по данным Г. И. Кириченко, строение их такое же, как у устья р. Усолки. Ковальская свита здесь налегает на архей и в основании имеет пачки конгломератов с галькой архейских пород. В южной части кряжа из-за очень плохой обнаженности описываемые породы нельзя расчленить с той же детальностью, как в Приангарье. По данным автора, М. А. Жаркова и А. Д. Бритченко, на архее здесь залегает толща в 1,6—1,8 км красно-бурых, в верхах розовато-серых песчаников с прослоями алевролитов. В ее основании обособляется пачка кварцитовидных песчаников (в 100 м), а местами — линзы конгломератов с галькой гранитов архейских пород и кварцитов. Кроме того, линзы конгломератов с галькой кварцитов и песчаников встречаются во всей толще (чаще в ее верхней части). Эти конгломераты аналогичны описанным в верховьях рч. Тузиков. По р. Топол у о. Улюколь рассмотренная толща согласно перекрывается породами ленского яруса. Несколько ниже середины толщи песчаников в ряде мест наблюдались выходы и высыпки зеленовато-серых мергелистых сланцев и песчаников, по-видимому относящихся к алешинской свите.

Ковальскую, алешинскую и шалыгинскую свиты Канско-Ангарской впадины можно сопоставлять с карагасской, оселочной и усть-тагульской свитами Присаянья,<sup>(4)</sup> ангульской, анастасьинской и нижней частью жержульской свиты р. Маны<sup>(5)</sup> и порожихинской свитой севера Енисейского кряжа. Алешинская свита, очевидно, является аналогом удинского горизонта<sup>(4)</sup> и флишеподобной пачки порожихинской свиты<sup>(2)</sup>.

Приведенные данные показывают, что в алданский век вдоль современного западного борта Канско-Ангарской впадины располагался глубокий прогиб. Резкое увеличение мощностей и некоторое изменение фаций алданских отложений с востока на запад и выдержанность тех и других в меридиональном направлении показывают, что прогиб протягивался в общем с юга на север. О западном ограничении прогиба достоверных данных пока нет. Восточный его борт прослеживается хорошо. Мощности соответствующих пачек по рр. Кокуй и Тасеевой и у Гребенского Быка близко совпадают. Это позволяет считать, что и полная мощность алданского яруса в этих пунктах примерно одинакова и составляет 1700—1900 м. На участке от Гребенского Быка до разреза выше устья р. Пай (25 км) мощность описанных пород сокращается на 1000 м. Градиент изменения мощностей, таким образом, 40 м/км. От разреза выше р. Пай до о. Коваль (50 км) мощность сокращается на 350 м (градиент 7 м/км), а между последним и р. Иркинеева (50 км) — на 100 м (градиент 2 м/км). К востоку от р. Иркинеева отложения алданского яруса вскрываются в Чадобецком поднятии. Мощность их и состав здесь (Н. С. Зайцев) такие же, как по р. Иркинеева. Таким образом, при движении от внутренних частей Сибирской платформы к обрамляющему ее с запада прогибу вблизи края последнего наблюдается лишь незначительное увеличение мощностей алданского яруса. Переход же к большим мощностям происходит в узкой зоне, которая в кембрии, по-видимому, представляла собой подобие флексуры. Она отделяла платформу от приплатформен-

ного склона прогиба, занимавшего краевое положение в каледонской геосинклинали. Эта зона пересекает Ангору в районе Выдумского Быка, откуда, судя по малым мощностям алданских пород в верховьях рр. Удереи и Удоронга (Ф. Я. Пан и А. К. Рублев), протягивается в северо-западном направлении.

Геологический институт  
Академии наук СССР

Поступило  
21 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. Н. Григорьев, Л. Н. Репина, Изв. АН СССР, сер. геол., № 7 (1956).  
<sup>2</sup> В. Н. Григорьев, Бюлл. МОИП, отд. геол., 31 (4) (1956). <sup>3</sup> Г. И. Кириченко, Информ. сборн. ВСЕГЕИ, № 1 (1955). <sup>4</sup> В. Т. Мордовский, Тр. Инст. нефти АН СССР, 7 (1956). <sup>5</sup> Л. Н. Репина, М. А. Семихатов, В. В. Хоментовский, ДАН, 110, № 1 (1956).



В. Н. ШИЛОВ и Г. Н. ПОРЫВАЕВА

**НЕКОТОРЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ  
ДАННЫЕ О ТЕРМАЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ДОЛЕРИТОВ  
НА ВМЕЩАЮЩИЕ ИХ КАМЕННЫЕ УГЛИ НА ЮЖНОМ САХАЛИНЕ**

*(Представлено академиком Д. С. Коржинским 19 III 1957)*

Правильные представления о температурах, развивающихся на контактах интрузивных тел с вмещающими породами, дают возможность судить о температурах образования самих интрузивных пород и необходимы для понимания происходящих при этом процессов и влияния последних на вмещающие породы и на образование рудных месторождений.

Наблюдения над современными вулканическими явлениями показывают, что застывание лав, или что то же самое, образование эффузивных пород, происходит при  $700 - 800^{\circ}$ . Весьма значительная температура лав, достигающая иногда  $1100 - 1200^{\circ}$ , несомненно далека как от температуры магмы внутри земной коры, так и от температуры образования изверженных пород в тех же условиях, поскольку поступающие на поверхность земли магмы (лавы) значительно разогрываются вследствие процессов окисления. Данные о температурах образования интрузивных пород из-за невозможности проведения, по понятным причинам, непосредственных измерений и ввиду недостатков, присущих известным в настоящее время косвенным методам <sup>(1)</sup>, очень скудны.

Интересные данные в этом отношении может дать изучение пород, и в частности ископаемых углей, испытавших на себе контактовое воздействие интрузивных тел. Под влиянием высокой температуры, развивающейся на контакте, уголь подвергается термальному метаморфизму и нередко переходит в естественный кокс. Получение искусственным путем в условиях, наиболее приближенных к природным, из измененного угля кокса, аналогичного по своему составу естественному, может дать представление о температурных условиях, имевших место на контакте с интрузивным телом, и о температуре образования слагающих его пород. Проведение таких экспериментов позволило сделать вывод о том, что температура кристаллизации пород одного из перидотитовых тел Пенсильвании была равна  $450 - 520^{\circ}$  <sup>(3)</sup> и что максимальная температура, существовавшая на контакте перидотитовой дайки с углем в Южном Иллинойсе, не превышала  $600^{\circ}$  <sup>(2)</sup>. Судя по ознакомлению с литературой подобные эксперименты в Советском Союзе не проводились, хотя во многих местах его (Урал, Казахстан, Тунгусский бассейн, Приморье, Сахалин) известны явления контактового воздействия интрузивных тел на ископаемые угли.

В изученной нами северо-западной части Южного Сахалина угленосные отложения Углегорской свиты прорываются субшелочными долеритами. Очень часто последние в виде различной мощности силлов располагаются непосредственно внутри угольных пластов или пререзают их в форме даек. На контакте с долеритами уголь превращается в естественный кокс или в отоженный минерализованный уголь, потерявший способность к спеканию. Типичный пример изменений свойств угля на различном расстоянии от долеритовой дайки мощностью  $1,5 - 2,0$  м показан в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что процесс естественного коксования угля с потерей им полной способности к спеканию закончился на расстоянии около 2 м от контакта с интрузивным телом. Лишь в 2,5 м от последнего эта способность

Таблица 1

Изменение свойств угля на различном расстоянии от дайки

№ п. п.	Расстояние, м	Содержание, %			Спекаемость	Характер коксового королька
		влаги $W^a$	зола $A^c$	летучих $V^r$		
1	0,04	0,4	24	4,4	Отс.	Порошок
2	1,93	1,8	7,7	13,5	»	»
3	2,10	1,4	6,7	23,2	»	»
4	2,00	1,5	5,9	28,7	5	Спекшийся
5	20,00	1,6	7,0	31,1	10	»
6	Неизменен. уголь	1,5	8,0	37,1	20	Сплавленный вспученный

появляется, но и в 20 м не достигает исходной величины 20. Уголь, слагающий края трещин и непосредственно не соприкасающийся с интрузивными породами, т. е. измененный лишь действием горячих газов, по сравнению с приконтактовым углем, отличается меньшей степенью метаморфизации:  $V^r = 8,9\%$ ,  $W^a = 4,2\%$ ,  $A^c = 13,6\%$ .

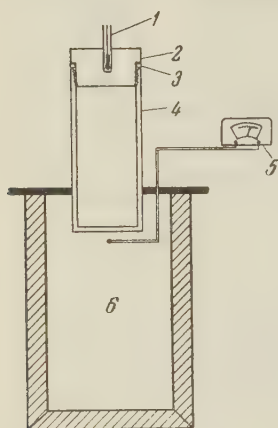


Рис. 1. Общая схема экспериментальной установки: 1 — термометр, 2 — пробка, 3 — медная прокладка, 4 — стальной цилиндр, 5 — термopар, 6 — тигельная печь

Итак, в результате термального метаморфизма уголь, располагающийся непосредственно на контакте с интрузивными породами, превращается в естественный кокс с содержанием летучих веществ около 4—5%, а тот же уголь, изменяющийся в условиях свободного пространства на небольшом расстоянии от интрузии, — в полукокс с содержанием летучих веществ порядка 9—10%.

Получение таких веществ искусственным путем при различной температуре, в течение различного времени и в закрытом пространстве, препятствовавшем удалению жидких и газообразных продуктов разложения угля, т. е. в условиях, наиболее приближенных к природным, и являлось задачей наших экспериментов. С этой целью стальной цилиндр (рис. 1) диаметром 2 дюйма и длиной 20 см наполнялся неизменным углем, измельченным до 3—5 мм, заворачивался герметичной пробкой и помещался в тигельную печь, нагретую до определенной температуры. Нагревание цилиндра с одного конца в принципе соответствовало одностороннему прогреву, имевшему место в природных условиях. Температура в печи (и, следовательно, в нижней части цилиндра) контролировалась термopарой, а в верхней части цилиндра — термометром, помещенным в особое гнездо в пробке цилиндра. После каждого опыта цилиндр вскрывался, и измененный уголь, взятый отдельно из верхней, средней и нижней частей, подвергался анализу. В первой серии опытов производилось одночасовое нагревание при различных температурах в печи, изменявшихся в интервале от 650 до 950°; во второй серии опытов продолжительность нагревания увеличивалась до четырех и восьми часов при температурах, найденных как оптимальные в первой серии опытов. Результаты всех анализов сведены в табл. 2, а зависимость

Результаты анализа отдельных проб измененного угля (время нагревания 1 час \*)

№ опыта	№ пробы	Положение пробы в цилиндре	Температура, °C	Содержание в %			Характер коксового королька
				влаги W <sub>a</sub>	зола Ас	летучих V <sub>Г</sub>	
1	1	верх	198	1,4	13,9	35,8	спекшийся, сплавленный, вспученный
	2	середина	424	0,95	16,3	36,2	
	3	низ	650	0,96	17,1	26,4	
2	4	верх	190	1,5	19,1	37,6	спекшийся, сплавленный, вспученный то же
	5	середина	445	1,4	17,2	36,4	
	6	низ	700	0,8	14,7	31,5	
3	7	верх	190	1,5	13,9	37,1	сильно вспученный спекшийся, вспученный слипшийся (!)
	8	середина	445	1,2	14,7	37,0	
	9	низ	700	1,0	15,6	21,6	
4	10	верх	212	1,4	12,9	36,7	сплавленный, вспученный спекшийся, вспученный слипшийся (!)
	11	середина	480	0,9	14,0	36,2	
	12	низ	750	1,3	17,5	18,0	
5	13	верх	238	1,2	12,4	38,1	сплавленный, спекшийся, вспученный сплавленный, слабо вспученный порошок
	14	середина	519	0,6	14,2	35,0	
	15	низ	800	2,3	18,2	6,2	
6	16	верх	232	1,1	15,0	36,1	сильно вспученный спекшийся, вспученный порошок
	17	середина	541	0,7	15,9	34,2	
	18	низ	850	2,4	18,9	7,1	
7	19	верх	254	0,95	13,9	37,9	спекшийся, вспученный спекшийся порошок
	20	середина	577	0,5	14,1	32,9	
	21	низ	900	2,2	18,0	5,1	
8	22	верх	260	1,1	13,3	38,3	сплавленный, сильно вспученный спекшийся порошок
	23	середина	580	0,7	13,2	29,2	
	24	низ	900	3,4	20,8	2,7	
9	25	верх	260	1,0	14,3	36,5	вспученный спекшийся порошок
	26	середина	605	0,7	13,4	30,1	
	27	низ	950	3,1	20,3	4,4	
10	28	верх	242	0,8	13,6	37,2	спекшийся, сплавленный, вспученный слипшийся порошок
	29	середина	521	0,6	13,4	28,5	
	30	низ	800	1,5	16,6	8,2	
11	31	верх	244	1,4	14,2	36,7	сплавленный, вспученный слипшийся порошок
	32	середина	572	1,2	15,5	17,0	
	33	низ	900	2,7	20,7	4,3	
12	34	верх	230	1,0	7,7	36,7	сильно вспученный спекшийся, сплавленный порошок
	35	середина	465	0,7	8,5	34,3	
	36	низ	600	1,4	10,5	9,2	

Примечание. Температуры для проб из средней части цилиндра найдены путем интерполяции.

\* В опыте № 9 время нагревания 40 мин., в опыте №№ 10 и 11 — 4 часа, в опыте № 12 — 8 часов.

между содержанием в пробах летучих (V<sub>Г</sub>) от температуры и времени нагревания изображены графически на рис. 2.

Из рассмотрения последней видно, что при одночасовом нагревании кокс, по содержанию летучих аналогичный естественному, получается при



довольно высокой температуре, превышающей  $800^{\circ}$ . Поведение кривых четырех- и восьмичасового нагревания указывает на то, что кокс того же состава при более длительном нагревании может быть получен при менее высокой температуре, в частности порядка  $700^{\circ}$ , при восьмичасовом нагревании. Нет сомнений в том, что получения кокса с содержанием 4—5% летучих, т. е. с таким содержанием, какое характерно для природного кокса, непосредственно на контакте с интрузивным телом, можно добиться при еще более низкой температуре. Естественно, однако, что увеличением продол-

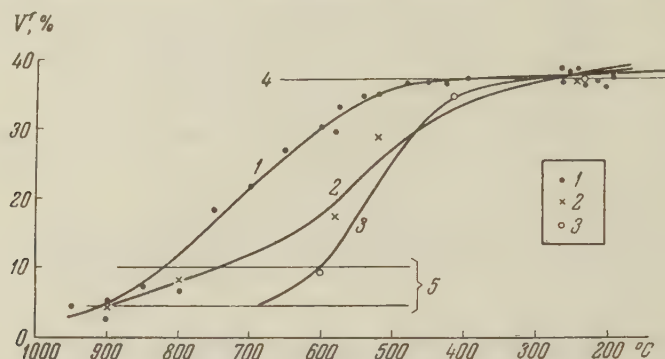


Рис. 2. График зависимости выхода летучих веществ от температуры и времени процесса. 1 — одночасовое нагревание, 2 — четырехчасовое нагревание, 3 — восьмичасовое нагревание, 4 — исходный уголь, 5 — кокс естественный

жительности опытов мы не в состоянии добиться в этом отношении значительного понижения температуры, поскольку из практики промышленного коксования известно, что при температуре порядка  $500^{\circ}$  даже в результате очень длительного нагревания может быть получен лишь полукокс — продукт более слабой степени метаморфизма, чем кокс нужного нам состава. Из этого становится понятным, что кривые более продолжительных нагреваний будут располагаться на рис. 2 правее кривых одно-, четырех- и восьмичасовых нагреваний, а расстояния между ними будут становиться все меньше и меньше и наконец совпадут друг с другом. Это будет при такой минимальной температуре, ниже которой в условиях эксперимента никакое увеличение продолжительности нагревания не будет в состоянии привести к образованию кокса нужного нам состава, когда фактор времени не сможет оказывать своего воздействия на этот процесс. Искомая минимальная температура, исходя из вышесказанного, должна быть заключена в интервале  $500\text{—}700^{\circ}$  и, по-видимому, равна приблизительно  $600^{\circ}$ . Поскольку же условия проведения экспериментов были достаточно приближены к природным и при обсуждении их результатов был соответствующим образом учтен фактор времени, играющий в геологических процессах очень важную роль, мы приходим к выводу, что температура на контакте углей и магматических расплавов также была близка к  $600^{\circ}$ . Температура застывания последних, или, иными словами, температура образования долеритов, была несколько меньшей, но по-видимому, не опускалась ниже  $550^{\circ}$ .

Сахалинский комплексный  
научно-исследовательский институт  
Академии наук СССР

Поступило  
18 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> И. А. Преображенский, Изв. АН СССР, сер. геол., № 2 (1955). <sup>2</sup> E. K. Clegg, Bull. Geol. Soc. Am., 64, № 12, part 2 (1953). <sup>3</sup> R. B. Sosmann, Am. J. Sci., 35 A (1938).

А. П. БОБРИЕВИЧ, Вл. А. КАЛЮЖНЫЙ и Г. И. СМЕРНОВ

**МУАССАНИТ В КИМБЕРЛИТАХ  
ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 20 III 1957)

Впервые минерал в редких знаках был обнаружен Б. И. Озерниковой при изучении тяжелой фракции шлиха, взятого из русловых отложений. Минералогический состав фракции характеризовался высоким содержанием оливина с показателем преломления  $N_g = 1,690$  (52,6%\*), ильменита (17,9%), пироба (12,2%) изумрудно-зеленого хромдиопсида (0,6%) пироксенов диопсидгеденбергитового ряда (15,1%) и магнетита (1,6%). Кроме того в ничтожных количествах присутствовали лимонит, бесцветная шпинель, альмандин, циркон и рутил. Указанная ассоциация минералов не случайна (особенно это относится к первым четырем), ибо выше по течению в районе реки, из которой бралась шлиховая проба, наблюдается выходящее на поверхность кимберлитовое тело.

В дальнейшем заинтересовавший нас минерал был обнаружен в нескольких шлихах, взятых из других мест обширного района. Здесь он наблюдался как в немагнитной, так и в электромагнитной фракциях шлиха в ничтожных количествах (от 1—2 до 8—10 знаков на взятую навеску шлиха). Зерна неправильной формы имели остроугольные ограничения, очень редко встречались обломанные кристаллики пластинчатого облика. Размер колебался от 0,05 до 1 мм.

Ассоциация минералов в этих шлихах несколько иная. Совершенно отсутствует оливин; преобладают ильменит, содержание которого в некоторых шлихах достигает 65,3%, лимонит (от 7,3 до 48%), альмандин (до 19,5%) и магнетит (от 3,1 до 17%). Иногда в значительных количествах наблюдается пироксен (до 26,4%), гроссуляр (9,5%) и циркон (7,7%). Почти во всех шлихах в редких знаках встречаются ставролит, рутил, дистен, шпинель, хромит, турмалин, лейкоксен, реже — роговая обманка, эпидот, корунд, хлоритоид, монацит, сфен, апатит, андалузит, анатаз и золото. В то же время, во всех шлихах (за исключением одного из восьми) в редких знаках (от 2 до 10 на взятую навеску шлиха) присутствуют угловатые зерна лилового, малинового и фиолетово-красного пироба, а в одном случае — одно зерно хромдиопсида. Малое содержание последних, по-видимому, свидетельствует о значительной удаленности коренных источников.

Приуроченность исследуемого минерала к ассоциации, включающей минералы кимберлитов — пироб и хромдиопсид, позволила предположить единый источник для них. Это прекрасно подтвердилось при изучении остатков, полученных при химическом разложении отдельных проб кимберлита из месторождений «Мир» и «Зарница», где были также обнаружены ничтожные количества исследуемого минерала. И, наконец, А. П. Бобриевым в кимберлитовой брекчии трубки «Мир» был встречен округлый ксенолит порфиристого перидотита с содержанием этого минерала в заметных количествах.

\* Здесь и ниже содержание рассчитано на тяжелую фракцию шлиха.

Макроскопически — это темно-серая порода, очень плотная, с крупными (до 1 см) вкрапленниками малинового пироба и фемических минералов (рис. 1). Структура породы порфировая, основной массы — панидиоморфно-зернистая (реликтовая). Порфировые вкрапленники представлены гранатом, псевдоморфозами серпентина по оливину и энстатиту и карбоната по моноклинному пироксену.

Минералогический состав основной массы отвечает продуктам гидротермального преобразования ранее существовавшего оливина, из которых

ведущую роль играет серпентин, карбонат и в меньшей степени вторичный кварц, магнетит, хлоритоподобный минерал и гидроокислы железа. Гранат представлен округло-овальными зернами дихроичного пироба, размером от 0,5—0,8 до 1 см в поперечнике. Зерна его имеют резко выраженные оплавленные очертания, и обычно окружены каймой вторичных продуктов, пропитанных бурыми гидроокислами железа (рис. 2). Показатель преломления пироба варьирует в пределах 1,738—1,754, что отвечает содержанию пиробового компонента от 60 до 70%. Зерна граната разбиты множеством разветвляющихся трещин, по которым развивается тонковолокнистый бесцветный серпентин и вторичный флогопит.

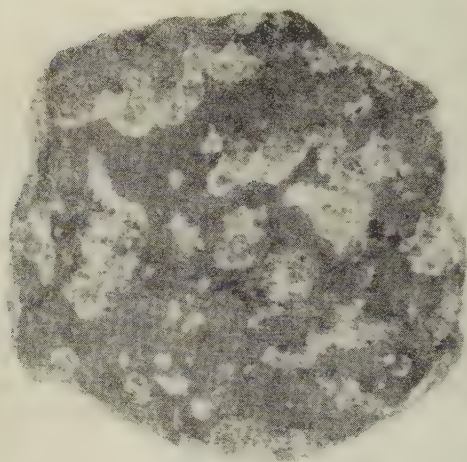


Рис. 1. Ксенолит порфирового перидотита из кимберлитовой брекчии.  $\frac{2}{3}$  натуральной величины

Кроме граната в виде порфировых выделений встречаются ксеноморфные псевдоморфозы; с одной стороны, серпентина по оливину и энстатиту, с другой — карбоната по моноклинному пироксену (рис. 3). Псевдоморфозы серпентина по оливину имеют петельчатую структуру, реже антигоритовое сложение, что отличает их от баститовых псевдоморфоз по энстатиту и карбонатных псевдоморфоз по грубостолбчатым зернам моноклинного пироксена. Основная масса породы полнокристаллическая (реликтовая) и состоит в основном из идиоморфных псевдоморфоз серпентина по ранее существовавшим зернам оливина. Наряду с серпентином в основной массе развивается вторичный кварц, карбонат и в значительном количестве магнетит.

Извлеченный из проб кимберлита, а также собранный в шлихах неизвестный минерал был передан В. А. Калюжному для более детального изучения его свойств и диагностики. Из-за ограниченного количества минерала (около 40 зерен размером меньше 1 мм) производились только те испытания, которые давали наиболее ясные результаты при минимальном расходовании его.

Остроугольные зерна минерала очень часто покрыты оплавленным белым агрегатом анизотропного вещества, показатель преломления которого находится в пределах 1,520—1,530. Под бинокулярном минерал имеет различную окраску (аквамариновую, голубую, лимонно-желтую, зеленую, изумрудно-зеленую, индигово-синюю, грязно-синюю до черной, красную), редко он бесцветен. Замечен в одних и тех же зернах постепенный переход одной окраски в другую, например индигово-синей в изумрудно-зеленую



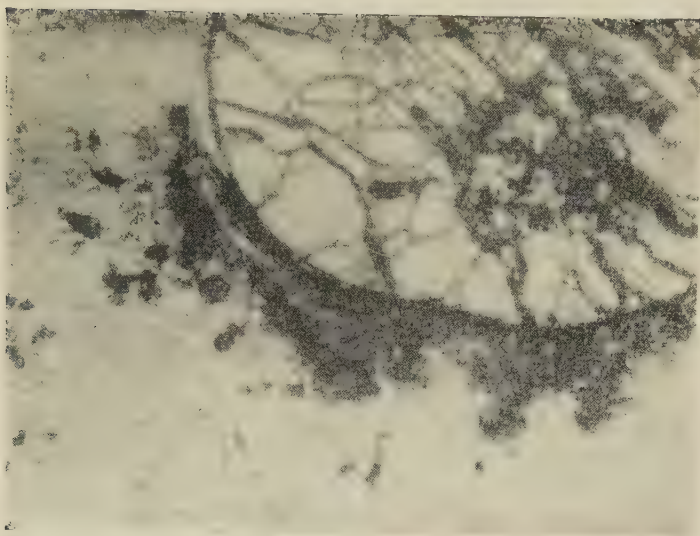


Рис. 2. Оплавленный порфировый вкрапленник пиропы, окруженный вторичными продуктами разрушения граната. 38X

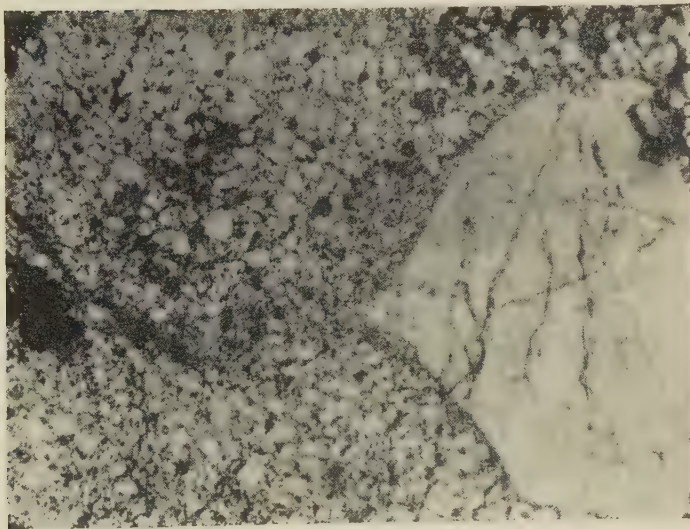


Рис. 3. Ксенокристалл оливина, замещенный серпентином в тонкозернистой основной массе порфирового перидотита. 38X



или грязно-синей в аквамариную. Цвет минерала при нагревании до  $600^{\circ}$  —  $700^{\circ}$  и последующего охлаждения остается без изменений. Сравнительно часто внутри зерен минерала встречаются непрозрачные включения, по-видимому рудных минералов. Из них наиболее обилен магнетит, вследствие чего некоторые зерна загрязненной стороной пристают к стальной игле. Твердость выше 9. Удельный вес 3,1. В отличие от алмаза минерал не сгорает в струе кислорода при температуре  $1100^{\circ}$ .

С целью измерения показателей преломления методом призмы на одном из зерен минерала светло-зеленого цвета размером  $0,9 \times 0,7$  мм были пришлифованы и отполированы под острым углом две плоскости. При этом зерно минерала и несколько тонких осколков твердого сплава («победита») приклеивались с помощью БФ-2 на предметное стекло. Твердый сплав хорошо предохранял зерно от быстрого истирания и способствовал полировке плоскостей непосредственно на стальном диске. Измерение приготовленной таким способом призмочки производилось на однокружном гониометре в лаборатории кафедры кристаллографии Львовского университета. Световые сигналы, несмотря на небольшие размеры пластинки, были довольно четкими. Получены следующие результаты: угол призмы  $A = 13^{\circ} 48'$ ; углы отклонения обыкновенного и необыкновенного лучей (соответственно) —  $\delta = 23^{\circ} 23'$  и  $\delta' = 24^{\circ} 00'$ ; показатели преломления в натриевом свете, вычисленные по формуле (1) и измеренным  $A$ ,  $\delta$  и  $\delta'$ ,  $N_0 = 2,655$ ,  $N_e' = 2,697$ .

Показатели преломления, таким образом, почти точно совпали со справочными для муассанита (2). Однако в литературе для SiC приводятся и другие, несколько отличные, оптические данные (3). С целью проверки были произведены также рентгеноструктурные и спектральные исследования.

На одном зерне минерала, размером  $0,8 \times 0,6$  мм, были обнаружены слабо выраженные и покрытые белым налетом три грани, располагающиеся в одном поясе. Гониометрические измерения кристалла произвести не удалось. Пучок рентгеновских лучей, ориентированный параллельно поясу граней, на лауэграмме дал симметрию второго порядка (анализы производились В. П. Цветковым и сотрудниками кафедры физики Львовского университета). В направлении, перпендикулярном к одной из граней, была обнаружена кристаллографическая ось шестого (или третьего) порядка. Две другие близкие между собой грани составляют с (0001) угол несколько больше  $90^{\circ}$ , и, по-видимому, являются гранями гексагональных (или тригональных) пирамид, приближающихся к призме.

Спектральный анализ пробы минерала весом 2,8 мг, произведенный С. Б. Казаковым, показал присутствие Si, Fe, Al, Mg, а также дал сравнительно слабо выраженную линию углерода (использовались медные электроды). Для контроля была заснята спектрограмма искусственного карбида кремния. Вес пробы и условия анализа оставались прежними. Сравнение результатов показало одинаковую интенсивность линий углерода естественного и искусственного SiC. Присутствие железа, магния и алюминия следует, по-видимому, относить за счет включений магнетита и налетов белого вещества.

Таким образом, экспериментальные исследования показали, что данный минерал является одной из кристаллографических модификаций очень редко встречающегося в природе карбида кремния — муассанита. Впервые минерал был обнаружен Муассаном (4, 5) в метеорите Каньон Дьябло (США) и определялся по физическим свойствам (твердости, удельному весу), габитусу кристаллов и отношению к кислотам и кислороду при  $1000^{\circ}$ . Здесь он находился вместе с графитом и очень мелкими кристалликами алмаза.

В дальнейшем муассанит в природе не встречался, и все данные, приводимые в минералогических справочниках и многочисленных работах (6-9), относятся к искусственному карбиду кремния. В 1931—1932 гг. был



описан муассанит, обнаруженный среди осадков в миоценовых известняковых конкрециях. Однако по поводу этих образований в литературе высказано предположение о происхождении их за счет ископаемых метеоритов<sup>(10)</sup>.

Таким образом, у нас есть все основания считать обнаруженный в шлихах и коренных породах Восточно-Сибирской платформы карбид кремния первой достоверной находкой муассанита земного происхождения. Установленная генетическая связь муассанита с описанным комплексом пород позволяет отнести этот минерал наряду с пиропом, ильменитом и хромдиопсидом к поисковым признакам на кимберлитовые тела и считать его спутником алмаза.

Авторы выражают глубокую благодарность В. С. Соболеву и Г. Л. Пиротровскому за ценные советы, полученные при выполнении настоящей работы.

Институт геологии полезных ископаемых  
Академии наук УССР  
г. Львов

Поступило  
18 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Е. Е. Флинт, Начала кристаллографии, 1952. <sup>2</sup> Д. Дэна и др. Система минералогии, 5, ИЛ, 1950. <sup>3</sup> А. Н. Винчелл, Г. Винчелл, Оптическая минералогия, ИЛ, 1953. <sup>4</sup> H. M. Moissan, C. R., 139, 773 (1904). <sup>5</sup> H. M. Moissan, C. R., 140, 405 (1905). <sup>6</sup> H. Baumhauer, Zs. Kristallogr., 55, 249 (1915). <sup>7</sup> H. Ott, Zs. Kristallogr., 61, 515 (1925). <sup>8</sup> H. Ott, Zs. Kristallogr., 63, 1 (1926). <sup>9</sup> N. W. Thibault, Am. Min., 29, 249, 327 (1944). <sup>10</sup> L. La Paz, Mineral. Mag. 29, Mineral. Abstr. 11, № 3, 130 (1950).

В. С. СМЕРНОВ и С. С. ШВАРЦ

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ВЕСА  
НАДПОЧЕЧНИКОВ У МЛЕКОПИТАЮЩИХ  
В ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ

(Представлено академиком И. И. Шмальгаузенем 10 V 1957)

В последнее время появилось большое количество работ, показывающих, что в процессе приспособления животных к самым различным неблагоприятным воздействиям большую роль играет изменение гормональной активности коры надпочечника<sup>(1, 3-6, 10-12, 14)</sup>. Этот вывод, явившийся первоначально результатом лабораторных исследований, был впоследствии в общей форме подтвержден наблюдениями в природе. В частности, Христианом было показано, что увеличение плотности популяции и ухудшение условий существования вызывает гипертрофию надпочечников. Однако значение изменений функциональной активности надпочечника в процессе приспособления животных к меняющимся условиям существования до сих пор не оценено, и есть основания полагать, что, так как в течение года условия существования даже процветающей популяции неоднократно меняются, роль надпочечника в процессе приспособления животных к условиям среды настоящего время не учитывается с необходимой полнотой. Это побудило нас включить в план исследований по биологии ондатры раздел, посвященный изучению сезонной изменчивости относительного веса ее надпочечников. Мы полагаем, что, пользуясь в качестве критерия изменения кортикальной активности надпочечников их весом, мы не совершаем серьезной ошибки, так как показано, что корреляция между размерами и активностью надпочечников весьма тесная<sup>(5, 15, 16)</sup>; с другой стороны, известно, что увеличение веса надпочечников определяется прежде всего увеличением массы коркового вещества<sup>(4, 5)</sup>.

Используя вес в качестве критерия активности надпочечника, мы получили возможность проводить работу в природных условиях, что позволило становить некоторые закономерности в его развитии, которые иным путем становить было бы практически невозможно.

Наш материал представлен в табл. 1, составленной на основе обследования ондатр из трех районов: лесостепного Зауралья (Курганская область), низовьев Оби (Салехард) и западного побережья Обской губы (Яр-Сале). Положение точек обследования в достаточной степени характеризует климатические условия областей распространения сравниваемых популяций. Относительный вес надпочечников мы выражаем в миллиграммах на килограмм веса тела.

Анализ табл. 1 позволяет сделать следующие выводы. В первый период роста молодняка (летом) нарастание массы надпочечника отстает от нарастания общей массы тела, в силу чего его относительный вес падает. Однако с наступлением морозов надпочечник быстро увеличивается в весе, его индекс растет. В этом нельзя не видеть известной связи активности надпочечника с процессом приспособления к низким температурам<sup>(8, 13, 17 и др.)</sup>. Наиболее высокий индекс надпочечника у самцов наблюдается в начале зимы. В Курганской области период резкого его увеличения падает на

октябрь — ноябрь, в районе Салехарда на сентябрь — ноябрь и в районе Яр-Сале — на сентябрь. Достигнув максимального значения, индекс надпочечников начинает падать. Процесс этот, как видно из табл. 1, происходит столь закономерно и столь отчетливо проявляется во всех обследованных нами группах ондатр, что в его реальности и определенном биологическом значении сомневаться не приходится. Становится очевидным, что увеличение надпочечника есть реакция на резкое изменение температуры, имеющее место в начале зимы, до того как ондатры окончательно переходят к полному образу жизни. Гиперфункцию надпочечников следует поэтому рассматривать как реакцию, облегчающую процесс перестройки физиологии организма в соответствии с зимними условиями существования.

В ходе рассматриваемого процесса наблюдаются существенные различия между молодыми и «взрослыми» (второй раз зимующими) животными.

Осенне-зимнее увеличение надпочечника у ондатр старших возрастов начинается раньше, держится дольше и выражено резче, чем у животных текущего года рождения. Это значит, что в физиологическом отношении ондатры в возрасте около полутора лет уже существенно отличаются от годовалых. Их приспособление к изменившимся условиям существования требует более значительных изменений активности эндокринных желез.

Факт этот представляет для нас совершенно очевидный и самостоятельный интерес, так как позволяет полнее оценить значение различных возрастных групп в поддержании численности популяции.

В порядке предварительной гипотезы можно высказать предположение, что констатируемое различие связано с падением реактивности тканей старших животных по отношению к гормональным воздействиям, т. е. аналогично компенсаторному увеличению выделения гонадотропных гормонов при падении реактивности гонад у животных и человека в старческом возрасте (<sup>7,9</sup>). У молодых самок, так же как и у самцов, к зиме надпочечники увеличиваются (это увеличение особенно хорошо выражено в Яр-Салевской популяции), но весной — в отличие от самцов — вес их не только не падает, но весьма значительно увеличивается и держится в течение всего теплого времени года на уровне значительно более высоком, чем у самцов (зимой это различие сглаживается). Увеличение размеров надпочечников самок в период размножения находит себе объяснение в специальной роли кортикогормонов в поддержании нормальной репродуктивной способности самок. С другой стороны, большие размеры надпочечников самок находят себе объяснение в существовании специфического гормона плаценты, стимулирующего деятельность надпочечников (<sup>2</sup>).

Ход роста надпочечников в лесостепной популяции, как это видно из табл. 1, подчиняется аналогичным закономерностям, включая и такие детали, как более значительное осенне-зимнее увеличение надпочечников взрослых самцов. Следует отметить, что весеннее увеличение размеров надпочечников самок на юге начинается в апреле, но достигает максимума в мае, а на севере — в июне, т. е. к началу (а может быть именно в начале) размножения. Бросается в глаза, что в южной популяции весной наблюдается незначительное, но хорошо заметное увеличение надпочечников и у молодых самцов. Это можно объяснить тем, что размножение и связанные с ним явления предъявляют большие «требования» к надпочечникам, чем условия существования в зимнее время. На севере соотношение этих двух «агентов напряжения», видимо, иное, так как здесь весной наблюдается не увеличение, а уменьшение веса надпочечников молодых самцов. С другой стороны, у взрослых самцов наблюдается снижение относительного веса надпочечника, что, в полном согласии с предыдущим, свидетельствует о большем влиянии низких температур (точнее — комплекса зимних условий существования) на животных старшего возраста.

Приведенный материал показывает, что в процессе приспособления животных к сезонным изменениям в условиях существования важную роль играет изменение количества поступающих гормонов коркового слоя над-



Сезонные изменения (по месяцам года) относительного веса надпочечников у ондатр в различных районах

	VII		II		IX		X		XI		XII		I		II		III		IV		V		VI		VII	
	n	M	n	M	n	M	n	M	n	M	n	M	n	M	n	M	n	M	n	M	n	M	n	M	n	M

## Курганская область

Молодые самцы							50	84,6	15	123	27	81	46	79,5	18	74,6			6	106	45	150			2	87,5
Молодые самки							86	86,0	16	84,7	11	70	33	71,0	26	72,5			7	152	30	357			2	286
Взрослые самцы							37	249	21	158	16	187	7	128	2	149					10	122				
Взрослые самки							37	289	34	145	11	225	12	144	5	131			3	185	5	441				

## Салехард

Молодые самцы	15	106			31	60,0	10	84,4	13	138	15	101	40	146							37	102,6	21	98,8		
Молодые самки	12	116			31	49,4	10	89,0	13	90,3	15	73,1	27	136							39	338	17	447		
Взрослые самцы	7	114			5	206	1	244	1	186	4	212	1	203							2	126	11	104		
Взрослые самки	9	314			4	363	4	348			2	169	3	168							3	480	10	301		

## Яр-Сале

Молодые самцы			19	89,5	34	259	37	1218	30	149	21	105				2	136								5	70
Молодые самки			24	104,6	14	265	51	214	21	136	39	130													1	614
Взрослые самцы			21	112	6	356	15	256	2	187	6	214				2	270								8	104
Взрослые самки			18	369	5	500	14	285	1	169	1	364													4	332

почечника. В различных климатических условиях эта закономерность имеет различное конкретное количественное выражение и проявляется в различные календарные сроки. У самок ведущим фактором, определяющим размеры их надпочечников, является участие их в размножении, у самцов — температурные условия существования. Животные старших возрастных групп реагируют на изменение в условиях существования более резким изменением в размерах надпочечников, чем молодые.

Учитывая очевидную роль надпочечников в приспособлении животных к сезонным колебаниям условий существования, мы полагаем, что вопрос о закономерностях их изменений должен привлечь к себе внимание не только физиологов, но и экологов.

Основные выводы этой статьи были подтверждены в нашей лаборатории на некоторых других объектах (водяная крыса, обский лемминг, узкохвостая полевка), поэтому мы склонны считать, что в самой общей форме они могут быть распространены на большинство видов млекопитающих.

Институт биологии  
Уральского филиала Академии наук СССР

Поступило  
15 IV 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> С. Н. Александрова, К. Ф. Галковская, Журн. общ. биол., 18, № 1 (1956). <sup>2</sup> J. Avaraga, S. Kit, Endocrinology, 55, № 1 (1954). <sup>3</sup> J. J. Christian, J. Mammology, 31, № 3 (1950). <sup>4</sup> J. J. Christian, Am. J. Physiol., 182, № 1 (1955). <sup>5</sup> J. J. Christian, Ecology, 37, № 2 (1956). <sup>6</sup> F. Frank, Zool. Jahrb. Abt. Syst., 82, H. 1/2 (1953). <sup>7</sup> W. R. Henderson, J. W. Rouland, Brit. Med. J., 1, 10554 (1938). <sup>8</sup> H. J. Hines, Proc. Roy. Soc. Queensland, 64, № 1 (1952). <sup>9</sup> H. D. Lausen, J. B. Goldon, E. L. Severinhaus, Am. J. Physiol., 125, № 2 (1939). <sup>10</sup> M. L. Mitchell, J. Am. Diet. Assoc., 29, № 8 (1953). <sup>11</sup> M. R. Rivoire, J. Rivoire, M. Ponzol, Press Med., 61, № 70 (1953). <sup>12</sup> F. Sargent, Am. Human Ecology, 3, № 1 (1953). <sup>13</sup> E. A. Sellers, S. S. Keichman, W. Thomas, Am. J. Physiol., 163, № 3 (1951). <sup>14</sup> H. Selye, The Physiology and Pathology of Exposure to Stress, Montreda (Canada), 1950. <sup>15</sup> P. E. Smith, E. C. Dowell, Anat. Rec., 46 (1930). <sup>16</sup> H. M. Smith, N. W. Freck, Herpetologica, 11, № 2 (1955). <sup>17</sup> A. K. Weiss, Am. J. Physiol., 177, № 2 (1954).

З. А. КОЛЕСНИК и Н. И. ШМОНОВА

## К ИЗУЧЕНИЮ ИЗМЕНЕНИЯ НЕФТИ В АНАЭРОБНЫХ УСЛОВИЯХ ПОД ВЛИЯНИЕМ БАКТЕРИЙ ИЗ РОДА *PSEUDOMONAS*

(Представлено академиком В. Н. Шапошниковым 27 V 1957)

Одной из задач нефтяной микробиологии является изучение чистых культур бактерий, выделенных из микробиоценоза пластовых вод, с целью выяснения их роли в изменении нефти.

В монографии Бирштехера «Нефтяная микробиология» приводится большое количество микроорганизмов, главным образом аэробных, которые используют нефть в качестве источника углерода, но в ней нет работ по изучению характера изменения нефтей как под влиянием микробиоценоза в целом, так и какой-либо одной физиологической группы бактерий.

Целью данной работы было изучение роли выделенных из пластовой воды бактерий из рода *Pseudomonas* и характера изменения нефти под влиянием жизнедеятельности этой группы бактерий.

В пластовой воде скважины № 120 IX пласта района Ташкала Северного Кавказа были обнаружены флюоресцирующие бактерии, дающие зеленую окраску питательной среды. Выделение чистой культуры проводилось на минеральной среде, содержащей в качестве единственного источника углерода соль масляной кислоты. После детального изучения выделенной нами чистой культуры была установлена принадлежность ее к роду *Pseudomonas*, но при определении вида встретились некоторые затруднения, так как по ряду признаков данная культура не укладывалась в рамки видов, приведенных в Определителе бактерий и актиномицетов Н. А. Красильникова. Поэтому мы считали возможным отнести выделенную группу бактерий к разновидности *Pseudomonas fluorescens denitrificans*.

С целью выяснения отношения бактерий к нефти и к некоторым ее компонентам приготавливались минеральные среды, содержащие в качестве единственного источника углерода: а) асфальтены, б) масла (масла и петролейно-эфирные смолы), в) неочищенную фракцию, выкипающую при 250—300°, г) твердый парафин и д) нефть.

На основании проведенных экспериментальных работ установлено, что *Ps. fluorescens denitrificans* не могут усваивать углерод асфальтенов и углерод фракции нефти, выкипающее при 250—300°, но размножаются на питательной среде, содержащей 1) парафин и 2) масла (масла и петролейно-эфирные смолы).

Активное развитие бактерий наблюдалось на среде, содержащей нефть, при этом нефть под влиянием жизнедеятельности бактерий визуально изменялась очень сильно. Представляло интерес выяснить характер изменения нефти — как под влиянием одной чистой культуры *Ps. fluorescens denitrificans*, так и совместно с сульфатвосстанавливающими бактериями, которым при изменении нефти придается очень большое значение.

С этой целью были поставлены следующие опыты. Опыт № 1: смешанная культура *Ps. fluorescens denitrificans* и сульфатвосстанавливающие бактерии в отношении 1 : 1. Опыт № 2: посевным материалом служила четырехсуточная культура *Ps. fluorescens denitrificans*. Для опытов пользовались пара-



финистой нефтью, отобранной из скважины № 37/17 Октябрьского района (Северный Кавказ); перед постановкой опытов нефть была обезвожена.

Опыты проводились на минеральной среде, в которой единственным источником углерода была нефть, в анаэробных условиях, для чего воздух из опытных бутылей вытеснялся азотом, очищенным от следов кислорода, при 30—32°. Нефть была внесена в количестве 106,43 г в первом опыте и 114,65 г — во втором.

В первом опыте через неделю после посева была обнаружена под нефтью тонкая светлая пленка и образование на дне опытного сосуда осадка сернистого железа. Через три недели под нефтью наблюдалась рыхлая коричневая бактериальная масса шириной в 1—1,5 см. Количество сернистого железа заметно увеличилось.

Во втором опыте через трое суток после посева под нефтью образовалась лохматая коричневая бактериальная пленка, которая, обрываясь, падала на дно бутыли. Через неделю среда перестала флюоресцировать, стала мутной, и под нефтью образовалась сплошная масса бактериальных пленок коричневого цвета. Через 20 дней коричневая рыхлая масса, состоящая из бактериальных пленок, заполнила литровую бутылку до самого дна.

Таким образом, выделенные из пластовой воды бактерии активно размножались в анаэробных условиях, на средах, в которых единственным источником углерода являлась нефть.

Таблица 1

Компонентный состав асфальтово-смолистых веществ  
(в % к исходной нефти)

	Асфальтены	Смолы		Сумма асфальтово-смолистых веществ
		бензолные	спирто-бензолные	
Опыт № 1	1,03	1,94	0,43	3,40
Опыт № 2	0,98	1,85	0,49	3,32
Контроль	1,27	2,09	0,52	3,88

Для определения характера изменения нефти под влиянием анаэробных бактерий были проведены химические исследования, непосредственной целью которых было выяснение, происходит ли накопление асфальтово-смолистых компонентов, не изменяется ли их качественный состав и не образуются ли в питательной среде воднорастворимые органические вещества\*.

Таблица 2

Элементарный состав смол и асфальтенов (в %)

	Смолы								Асфальтены			
	бензолные				спирто-бензолные							
	С	Н	S	N + O	С	Н	S	N + O	С	Н	S	N + O
Контроль	86,43	10,39	0,89	2,29	83,16	10,32	3,0	3,52	87,07	8,34	0,88	3,71
Опыт № 1	83,38	9,83	0,87	5,92	81,85	9,79	3,26	5,10	85,15	7,92	1,10	5,83
Опыт № 2 („Зеленые“ бактерии)	84,84	10,16	1,02	3,98	81,30	9,75	2,90	6,05	83,43	7,68	0,85	8,04

При рассмотрении данных, приведенных в табл. 1, можно отметить, что увеличения суммы асфальтово-смолистых компонентов в условиях дан-

\* Определение элементарного состава асфальтово-смолистых компонентов проводилось О. П. Болотской.

ных опытов не происходило, но наблюдалось изменение их состава. В табл. 2 приводится элементарный состав бензольных и спирто-бензольных смол, а также асфальтенов.

Содержание углерода и водорода в последних понизилось по сравнению с контролем. В табл. 3 приводится элементарный состав асфальтово-смолистых компонентов в целом: в сумме асфальто-смолистых веществ количество гетероатомов возросло с 4,07% в контроле до 6,73% в опыте № 2 и 7,02% в опыте № 1.

Для решения вопроса о том, какие компоненты нефти используются бактериями, была проанализирована масляная часть опытных и контрольной нефти (аналитик Н. В. Стригалева). Результаты этого исследования показали, что бактерии в опыте № 2 используют углеводороды нефти.

Как видно из табл. 4, было обнаружено уменьшение содержания твердых углеводородов на 5% в опыте № 1 и 3,3% в опыте № 2. Парафины после опыта изменили свой качественный состав, температура плавления их резко снизилась.

Исследование парафинов методом инфракрасных спектров поглощения (Е. А. Глебовская) показало, что если отношение  $\text{CH}_3/\text{CH}_2$  в контроле равно 0,199, то в опыте № 1 — это 0,334, в опыте № 2 0,359. Иными словами, содержание  $\text{CH}_3$ -групп увеличивалось по крайней мере в полтора раза.

Параллельно с изучением асфальтово-смолистых компонентов была исследована минеральная среда на содержание в ней воднорастворимых органических веществ.

Как в опыте № 1, так и в опыте № 2 в водной среде присутствовали органические соединения, о чем можно было судить по содержанию углерода в осадке, выделенном из раствора при выпаривании последнего. В опыте № 1 содержание углерода в осадке составляло 8,61%, в опыте № 2 28,3%. Кроме того остаток сухих солей содержал также некоторое количество углерода — соответственно 1,77 и 3,30.

Следует отметить, что водная среда из опыта № 1, где нефть подвергалась воздействию смешанной культуры, имела резкий, неприятный запах, характерный для нафтенных кислот. Определение последних показало следующее (по отношению к содержанию нефти): в опыте № 2 нафтенных кислот оказалось столько же, сколько в контроле (0,12 мг %); в опыте же № 1 содержание их почти в десять раз превышает количество, найденное в контроле (1,05 мг %).

Таким образом, проведенные в анаэробных условиях опыты указывают на влияние микроорганизмов на характер изменения нефти. Направление происходящих процессов зависит от качественного состава бактерий. Преобладание в микробиоценозе одних физиологических групп бактерий над другими приводит к различным изменениям качества нефти.

Всесоюзный нефтяной научно-исследовательский  
геолого-разведочный институт

Поступило  
27 V 1957

Таблица 3

Элементарный состав асфальтово-смолистых веществ (в %)

	C	H	S	N+O+S
Контроль	86,23	9,70	1,15	4,07
Опыт № 1	83,73	9,25	1,23	7,02
Опыт № 2				
(„Зеленые“ бактерии)	83,90	9,37	1,25	6,73

Таблица 4

Содержание и характеристика твердых углеводородов

	Содержание парафинов, вес. %		Т. пл. парафинов, °C
	на масла	на исходную нефть	
Опыт № 1	7,3	6,4	51,0
Опыт № 2	9,1	8,1	49,5
Контроль	13	11,4	57,0

Б. И. РУКАВЦОВ

## ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ НАД КУЛЬТУРОЙ КИШЕЧНОЙ ПАЛОЧКИ В АНОПТРАЛЬНОМ МИКРОСКОПЕ

(Представлено академиком В. Н. Шапошниковым 27 V 1957)

До последнего времени наиболее совершенным прибором для изучения деталей строения живой бактериальной клетки являлся фазово-контрастный микроскоп. Однако при изучении внутренней структуры бактерий этот прибор не всегда дает удовлетворительные результаты. Протопласт бактериальной клетки обычно выглядит сплошь темным, а детали видны в ряде случаев даже хуже, чем в светлом поле <sup>(3)</sup>.

Весьма перспективным для изучения цитологии бактерий является использование нового метода контрастирующей микроскопии, разработанного Вильска в 1953 г. <sup>(10)</sup> и вошедшего в литературу под именем аноптральной микроскопии <sup>(4, 5)</sup>. В отличие от фазово-контрастного микроскопа в основе действия аноптрального микроскопа лежит, по-видимому, явление амплитудного контраста, описанное впервые Браутшеком <sup>(1, 5, 7)</sup>.

С помощью аноптрального микроскопа, изготовленного нами в соответствии с указаниями Вильска, Уэбба и Пешкова <sup>(4, 9, 10)</sup>, мы провели ряд наблюдений над культурой кишечной палочки. Для исследования была взята культура *Escherichia coli*, типичная по морфологическим, культуральным и биохимическим признакам. Перед изучением культура выращивалась на мясо-пептонном агаре с ежедневными пересевами в течение 3 дней, а в день исследования засеивалась густым газоном на пластинку мясо-пептонного агара и инкубировалась при 37°.

Через различные сроки выращивания из агара вырезались блоки, с которых готовились отпечатки на предметных стеклах. После легкого подсыхания препарата на него наносилась капля вазелинового масла (показатель преломления 1,452), препарат накрывался покровным стеклом и окантовывался парафином. Были изучены препараты, приготовленные из следующих культур: исходная культура (в возрасте 24 часа) и культуры нового посева возрастом  $1\frac{1}{2}$ , 1,  $1\frac{1}{2}$ , 2,  $2\frac{1}{2}$ , 3, 4, 5, 6, 8, 18, 24, 36 и 48 час. С каждого препарата изготовлялось несколько микрофотографий разных полей зрения, которые печатались при одинаковом увеличении (3500×). Некоторые из полученных микрофотографий представлены на рис. 1—4.

При микроскопии исходной, 24-часовой, культуры клетки *Escherichia coli* имеют нормальную форму коротких палочек; длиной 1—1,3 м и диаметром около 0,7 м. Протопласт клеток выглядит светлым на темном фоне, но внутри каждой клетки обнаруживается темное включение, круглой или слегка вытянутой формы, диаметром 0,4—0,6 м, расположенное в центре клетки. Отдельные клетки и их скопления окружены характерной для аноптрального микроскопа темной каймой (рис. 1). В препаратах из 30-минутной и часовой культуры клетки сохраняют тот же вид, но несколько увеличиваются, достигая размеров 1—1,7 × 0,8—1 м. Одновременно увеличиваются, особенно в длину, включения в клетках (рис. 2).

Весьма своеобразную картину удалось зафиксировать через  $1\frac{1}{2}$  часа после посева (рис. 3). Клетки культуры резко увеличены как в длину, так





Рис. 1. *Escherichia coli*. 24 часа (исходная культура). В клетках видны включения круглой или овальной формы. 3500 X



Рис. 2. Та же культура. 1 час после посева. Размеры клеток и внутриклеточных включений резко уменьшены. 3500 X

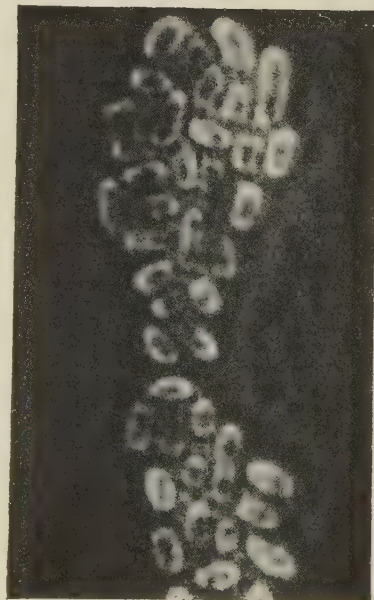


Рис. 3. Та же культура. 1,5 часа после посева. Резкое увеличение клеток. Деление клеток и внутриклеточных включений. 3500 X

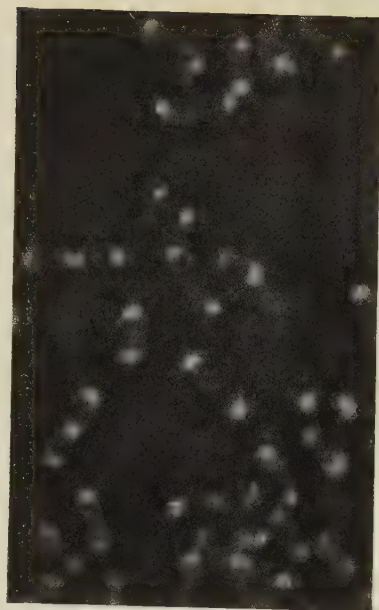
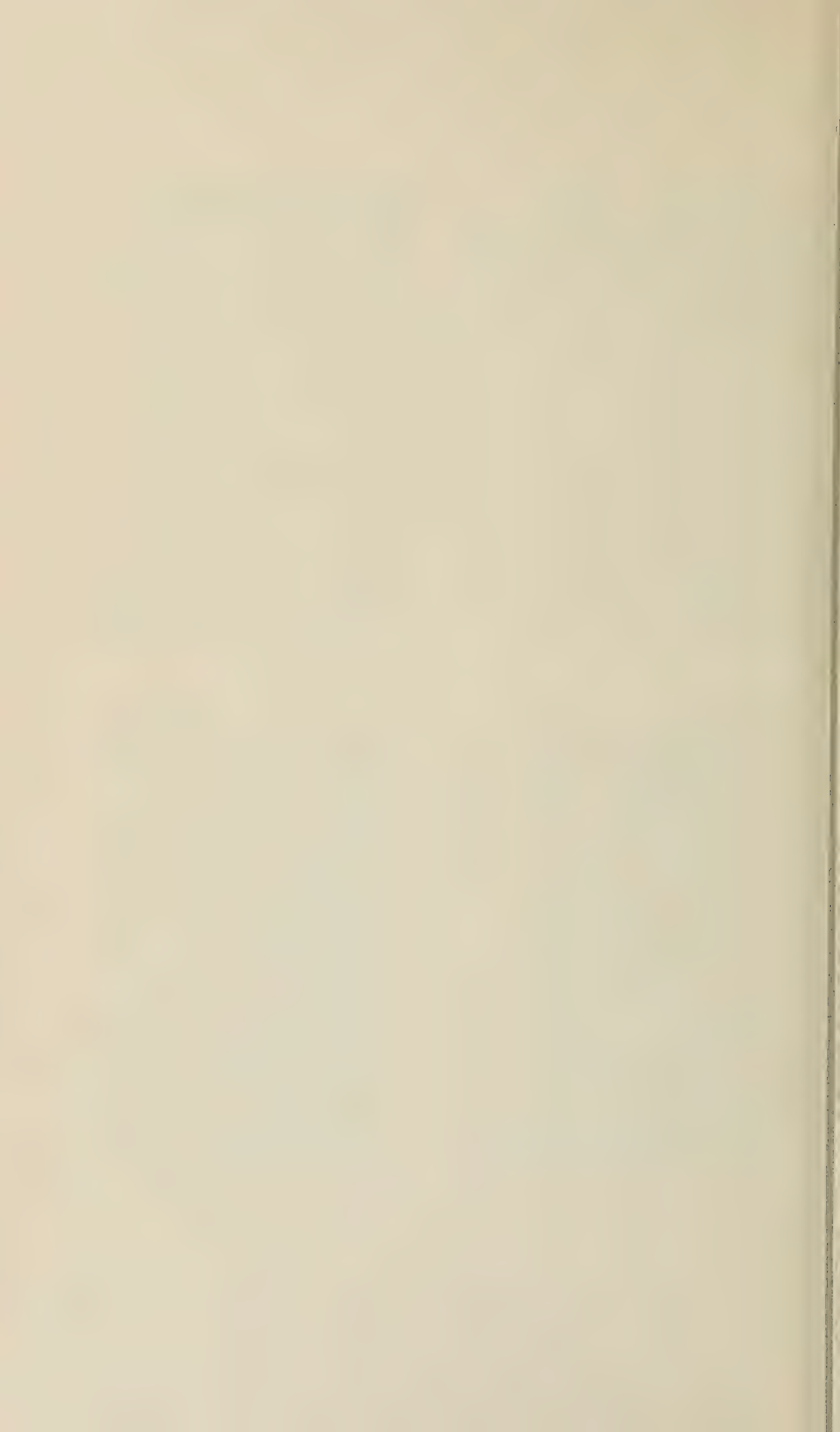


Рис. 4. Та же культура. 2 часа после посева. Уменьшение размеров клеток. Активное деление клеток и внутриклеточных включений. 3500 X



и в поперечнике, достигая размеров  $1,7-2,5 \times 1-1,5 \mu$ . Включения в клетках имеют палочковидную или гантелевидную форму. Возникает впечатление активного деления внутриклеточных включений. Одновременно отмечается и деление некоторых клеток.

В препаратах из 2-часовой культуры (рис. 4) подобных картин уже не наблюдается. Клетки уменьшились в размере, хотя длина некоторых из них и превышает длину клеток  $1\frac{1}{2}$ -часовой культуры. Такие удлинённые клетки содержат одно длинное включение, находящееся в состоянии, близком к делению, или два только что разделившихся включения трапецевидной формы. Эта стадия развития культуры, по-видимому, соответствует началу фазы логарифмического роста.

Бактерии в препаратах из культур возраста  $2\frac{1}{2}$ , 3 и 4 часа не имеют существенных отличий по сравнению с описанными выше 2-часовыми бактериями. Клетки этих культур содержат одно, чаще два, включения, занимающих значительную часть клетки. Отмечается активное деление клеток, причем каждая из разделившихся мелких клеток содержит одно включение прямоугольной или трапецевидной формы.

Клетки 5-часовой культуры значительно меньше и достигают  $1-2 \mu$  в длину и  $0,7-0,8 \mu$  в диаметре. Почти все клетки содержат только по одному включению прямоугольной, трапецевидной или треугольной формы длиной  $0,7-1,4 \mu$ . Количество делящихся клеток значительно уменьшено. Еще более выражено уменьшение размеров клеток в препаратах из 6- и 8-часовых культур.

Морфология бактерий из 18-часовой культуры почти не отличается от морфологии исходной культуры. Клетки имеют вид коротких палочек, размерами  $1,4-1,9 \times 0,7-1 \mu$ . В клетках находится по одному включению овальной или треугольной формы. Клетки в препаратах, взятых через 24 часа после посева, полностью соответствуют по морфологии клеткам исходной культуры (рис. 1), так же как и клетки 48-часовой культуры.

Наблюдаемые в бактериях структуры не являются результатом воздействия вазелинового масла, так как они видны сразу же после изготовления препарата и не изменяются при его хранении. Кроме того они видны, хотя и не столь контрастно, при заключении препарата в воду или физиологический раствор хлористого натрия.

Вопрос о природе описанных образований разумеется не может быть решен средствами только аноптральной микроскопии. Характер расположения, форма, размеры и изменения в процессе роста культуры, позволяют высказать мнение о тождестве наблюдавшихся нами образований с описанными рядом авторов (<sup>2, 3, 6</sup>) нуклеоидами бактерий. С целью проверки этого предположения нами было предпринято окрашивание препаратов из культур различных возрастов по методу НСI — Романовский — Гимза (<sup>3, 6</sup>) и по методу Чанса, специфичному для тимонуклеиновой кислоты (<sup>8</sup>). В обоих случаях были получены идентичные результаты, указывающие на одинаковый характер структур, видимых на неокрашенных препаратах в аноптральном микроскопе, и нуклеоидов, выявляемых перечисленными методами окраски. Таким образом, аноптральный микроскоп является весьма ценным прибором, позволяющим производить прижизненное изучение ядерного аппарата бактерий в неокрашенных препаратах.

Кубанский медицинский  
институт

Поступило  
27 V 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> К. М и х е л ь, Основы теории микроскопа, М., 1955. <sup>2</sup> М. А. П е ш к о в, Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., № 4—5, 10 (1945). <sup>3</sup> М. А. П е ш к о в, Цитология бактерий, М.—Л., 1955. <sup>4</sup> М. А. П е ш к о в, Усп. совр. биол., 39, в. 2, 253 (1955). <sup>5</sup> М. А. П е ш к о в, Усп. совр. биол., 40, в. 3 (6), 372 (1955). <sup>6</sup> С. Ф. Р о б и н о у, Ядерный аппарат и клеточная структура палочковидных бактерий, в кн. Р. Ж. Д ю б о, Бактериальная клетка, М., 1948. <sup>7</sup> К. В r a u t s c h e k, Zs. wiss. Mikroskop., 9, 145 (1892). <sup>8</sup> Н. L. С h a n s e, J. Bact., 71, № 3, 285 (1956). <sup>9</sup> С. М. W e b b, Microscope, 9, № 8, 215 (1953). <sup>10</sup> A. W i l s k a, Nature, 171, № 4347, 353 (1953).



ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

А. И. КОРОВИН

**О ВЛИЯНИИ ПОНИЖЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ  
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ФОРМ И ДОЗ  
МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 29 IV 1957)

Одной из особенностей Севера является короткое лето с общим недостатком тепла, пониженными температурами почвы, особенно в начале и конце вегетации растений. Изучая влияние пониженной температуры почвы на формирование урожая зерновых культур, мы обнаружили четко проявляющуюся зависимость между температурой почвы и эффективностью некоторых форм и доз удобрений.

Опыты проводились в термовегетационных домиках на Соликамской сельскохозяйственной опытной станции в 1953—1955 гг. и в Институте биологии Карельского филиала АН СССР в 1956 г. Пониженные температуры почвы создавались с помощью проточной родниковой воды, которая в самый теплый период лета имеет температуру около 6°. Пропуская эту воду через ванны, в которых помещены сосуды с растениями, удается поддерживать температуру почвы на уровне 6—7°, в течение всей вегетации.

Прежде всего было установлено, что при пониженных температурах почвы в течение отдельных периодов вегетации или всего вегетационного периода у пшеницы, ячменя и овса удлиняется вегетационный период, снижается общий урожай. В распределении урожая происходят существенные изменения в сторону снижения доли зерна и повышения доли корней (см. табл. 1).

Таблица 1

Влияние температуры почвы на урожай и вегетационный период зерновых культур

Культура и сорт	Урожай (г/сосуд)				Длина вегетационного периода (дней)
	общий	зерна	соломы	корней	

Температура почвы 6—7°

Пшеница Диамант	29,5	7,4	15,5	6,6	124
Ячмень Винер	34,8	8,8	15,6	10,4	120
Овес Золотой дождь	28,8	8,4	12,6	7,8	139

Температура почвы 15—20°

Пшеница Диамант	42,9	12,2	26,2	4,5	78
Ячмень Винер	40,9	17,7	19,1	4,5	77
Овес Золотой дождь	41,6	14,0	19,9	7,7	79

Аналогичные явления наблюдаются в полевых условиях. В годы с холодным летом доля зерна в урожае резко снижается. Так, например, в одном из многолетних опытов Соликамской опытной станции в 1949 и 1950 гг. общий урожай яровой пшеницы был одинаковый — около 72 ц/га, а урожай зерна был в 1949 г. 32,3 ц/га, в 1950 г. 20,2 ц/га. Это объясняется тем, что лето 1950 г. было холодным.

Влияние температуры почвы на формирование растениями урожая проявляется по-разному в зависимости от применяемых форм и доз удобрений. Это четко подтверждается и полевыми опытами. При пониженных температурах почвы растения, особенно в период до трубкавания, лучше растут и развиваются по аммиачному азоту, а при более высоких — по нитратному. В 1955 г. на почве без охлаждения урожай как по аммиачной, так и по нитратной формам азота был одинаковым как по общей массе, так и по зерну. При пониженных же температурах почвы по аммиачному азоту как общий урожай, так и, особенно, урожай зерна были значительно выше, чем по нитратному, а именно:

	Общий (в г/сосуд)	Зерна
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	30,4	7,7
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	32,8	11,3

В длительных полевых опытах сельскохозяйственной станции в годы с холодным и сырым летом лучший урожай зерна формировался по аммиачной форме азота, в теплые — по нитратной. Так, например, в многолетнем опыте станции урожай яровой пшеницы был:

	1950 г. (в ц/га)	1953 г.
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	17,9	23,8
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	19,3	19,8

Характерно, что преимущество аммиачных удобрений перед нитратными при пониженных температурах почвы наиболее ярко проявляется в период до выхода растений в трубку. После трубкавания эти преимущества ослабевают, эффективность же нитратных форм возрастает. Это отражается также и на структуре вегетационного периода. Если на почве без охлаждения наступление фаз развития как по аммиачному, так и по нитратному азоту идет одинаково, то на охлажденной почве по аммиачному азоту сокращается период от посева до колошения, а по нитратному — от колошения до созревания. Причем это сокращение достигает недели и больше.

Неодинаковое влияние аммиачных и нитратных удобрений в разные периоды онтогенеза растения в зависимости от температуры почвы объясняется, по-видимому, приспособленностью растений в первый период своей жизни усваивать аммиачный азот (поскольку весной аммиачные формы азота в почве преобладают) и постепенно переходить на нитратное питание (летом в почве преобладают нитратные формы азота). Пониженные температуры почвы усиливают проявление этой особенности у растений.

Исходя из особенностей усвоения аммиачного и нитратного азота в зависимости от температуры почвы, мы давали растениям азот в два приема; до посева аммиачный (половина дозы) и после всходов в подкормке нитратный (также половина дозы). Результаты оказались положительными и четко повторялись в течение 3 лет (см. табл. 2).

Из табл. 2 видно, что раздельное внесение аммиачных и нитратных форм азота сказывается положительно только при пониженных температурах почвы. Оно выражается в сокращении длины вегетационного периода и в увеличении урожая.

В опытах В. П. Дадыкина (1952) было установлено, что из холодной почвы растения хуже всего усваивают азот. В наших опытах этот вывод полностью подтвердился. Кроме того, нами было установлено, что при по-

ниженных температурах почвы растениями плохо усваивается также фосфор. При температуре почвы 6—7° увеличение дозы азота более чем в два раза влияет на растение отрицательно. Повышение дозы фосфора в 2—3 раза влияет положительно не только на усвоение самого фосфора, но и на усвоение азота и калия. Наилучшие результаты при положительных температурах почвы получаются при внесении удобрений в сочетании: 1 доза азота

Таблица 2

Влияние раздельного внесения аммиачного и нитратного азота на урожай и вегетационный период пшеницы при различных температурах почвы

Вариант опыта	Урожай (г/сосуд)		Длина вегетационного периода (дней)
	общий	зерна	

Температура почвы 6—7°

Контроль. Обе формы азота внесены до посева	29,1	7,7	138
0,5 дозы — аммиачный азот до посева; 0,5 дозы — нитратный азот в подкормке	34,7	10,7	129

Температура почвы 15—20°

Контроль. Обе формы азота внесены до посева	46,4	17,2	95
0,5 дозы — аммиачный азот до посева; 0,5 дозы — нитратный азот в подкормке	43,6	15,3	92

3 дозы фосфора, 1½ дозы калия. Такое соотношение удобрений мы называем для краткости северной дозой, так как эффективность этого сочетания проявляется тем сильнее, чем ярче выражены отрицательные особенности Севера. С понижением температуры почвы эффективность северной дозы возрастает, при более благоприятных условиях снижается.

За все годы наших опытов с пониженными температурами почвы по северной дозе вегетационный период сокращался на 5—10 дней, общий урожай увеличивался и доля зерна в урожае возрастала. Эффективность минеральных удобрений, и особенно северной дозы, возрастает при совместном внесении их в почву с навозом (см. табл. 3).

Таблица 3

Влияние совместного внесения минеральных удобрений с навозом на урожай и вегетационный период пшеницы при различных температурах почвы (1955)

Варианты опыта	Урожай (г/сосуд)		Процент зерна в урожае	Длина вегетационного периода (дней)
	общий	зерна		

Температура почвы 6—7°

NPK	29,1	7,7	26	138
Сев. доза	36,7	10,4	28	131
NPK + навоз	37,1	11,6	31	131
Сев. доза + навоз	40,1	14,6	36	129

Температура почвы 15—20°

NPK	46,4	17,2	37	95
Сев. доза	55,9	20,0	36	93
NPK + навоз	55,0	20,1	37	95
Сев. доза + навоз	53,0	18,8	35	93



Необходимо отметить, что действие одного навоза (или перегноя) без минеральных удобрений при пониженных температурах почвы почти совсем не проявляется.

Интересные данные были получены в 1956 г. в опыте по выяснению влияния северной дозы в сочетании с разделным внесением аммиачного и нитратного азота (см. табл. 4).

Таблица 4

Влияние северной дозы и раздельного внесения аммиачного и нитратного азота на урожай и вегетационный период пшеницы при пониженной температуре почвы (8—10°)

Варианты опыта	Урожай (г/сосуд)		Длина вегетационного периода (дней)
	общий	зерна	
NPK	53,2	11,9	124
Сев. доза	78,4	16,7	121
Сев. доза. 0,5 дозы аммиачного азота до посева; 0,5 дозы нитратного азота в подкормке	82,6	18,8	116

Из данных табл. 4 видно, что если в северной дозе азот вносить в виде двух форм и раздельно, то ее эффективность повышается. Особенно важным является достигнутое здесь сокращение длины вегетационного периода при пониженных температурах почвы.

Институт биологии Карельского филиала  
Академии наук СССР

Поступило  
10 XII 1950

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

И. Е. РОГАЛЕВ

**О ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ СОСУДИСТОВОЛОКНИСТЫХ ПУЧКОВ  
И СОСУДОВ КСИЛЕМЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ФОСФОРНОГО  
ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ**

(Представлено академиком С. И. Вольфовичем 8 IV 1957)

Нуклеиновые кислоты, являющиеся основным ядром нуклеинового обмена, играют существенную роль в процессах тканевой дифференциации (<sup>1-3</sup>). Гистохимическими исследованиями В. Г. Конарева (<sup>4</sup>) было показано, что в условиях голодного обмена проростков гороха, вызванного удалением семядолей, в первую очередь расходуются белки, не содержащие фосфора. Дольше всего сохранялись содержащие фосфор нуклеопротеиды; при этом сравнительно больше было обнаружено нуклеиновых соединений в сосудодобrazующих клетках и в прилегающей к пучкам паренхиме. Несомненно, что между подобного рода локализацией нуклеиновых соединений и процессами образования элементов сосудистой системы имеется определенная связь.

Вместе с тем возникает важный вопрос о степени воздействия фосфорного питания на дифференциацию и формирование сосудистой системы в процессе роста и развития растений.

По вопросу влияния фосфорного питания на процесс образования сосудисто-волокнистых пучков и проводящих сосудов ксилемы в течение 1947—1949 гг. нами проводились количественно-анатомические наблюдения на растениях, произраставших в условиях разной обеспеченности их фосфорным питанием.

Опытными растениями в вегетационных опытах служили: подсолнечник сорт Саратовский ранний, выращиваемый в песчаной культуре, и томаты сорт «Бизон» — в почвенной культуре на супесчаной почве Люберецкого опытного поля. С соответствующих делянок полевого опыта, проводившегося Т. С. Мельниковой на опытном поле Долгопрудной агрохимической опытной станции, снимались образцы для анатомической обработки стеблей картофеля сорт «Эпрон» и листьев кормовой свеклы сорт Эккендорфская. Образцы картофеля для анатомического анализа снимались в фазе цветения; листья свеклы были сняты 12 VIII, когда прикорневая розетка была достаточно развита. В вегетационных опытах пробы растений подсолнечника снимались в фазе вегетативного роста (30-дневного возраста) и растения томатов — в фазе массового цветения.

В вегетационных опытах питательная смесь соответствовала нормам Гельригеля с разной дозировкой фосфора (а под томаты и разной дозой азота) по вариантам. К смеси были добавлены микроэлементы — бор, марганец и медь. Нормы удобрений под картофель в полевом опыте вносились из расчета по 45 кг на 1 га азота, фосфора ( $P_2O_5$ ) и калия ( $K_2O_5$ ). В вариантах увеличенных доз — нормы фосфора и азота соответственно увеличивались см. табл. 1—4. Под свеклу азота, фосфора ( $P_2O_5$ ) вносилось по 60 кг на 1 га и калия ( $K_2O$ ) 45 кг.

Снимаемые для анатомической обработки образцы фиксировались в этиловом спирте в возрастающей концентрации с последующим переносом их в абсолютный спирт.

Измерения и подсчет анатомических элементов сосудистой системы опытных образцов растений производились подмикроскопом Цейсса, оснащенного окулярным микрометром, на поперечных срезах из одинаковых участков по всем вариантам опыта. Количественные данные являются средними величинами из десяти параллельных измерений.

**Подсолнечник.** Количественные изменения в формировании проводящей сосудистой системы (ксилема) стебля подсолнечника под влиянием недостатка фосфорного питания показаны в табл. 1, из которой видно,

Таблица 1

Вариант опыта	Число сосудистых пучков в поперечном сечении стебля	Число сосудов в пучке	Общее число сосудов	Диаметр сосудов, $\mu$
0,0P	16,0	27	432	48,2
0,2P	18,4	31	570	63,5
1,0P	21,5	33	709	71,1
2,0P	21,0	37	777	76,4

Таблица 2

Вариант опыта	Ширина либриформы, $\mu$	Число сосудов ксилемы
Без удобрений	928	1048
N	924	900
P	1128	1110
NPK	1464	1300
NP <sub>2</sub> K	1544	1550

что при недостатке фосфорного питания в стебле подсолнечника образовано меньше сосудисто-волокнистых пучков и сосудов в них; просветы сосудов значительно сужены. С добавлением фосфора в питательную среду улучшается формирование сосудистой системы, при этом с повышением доз фосфора увеличивается число сосудов ксилемы, хотя пропорциональной зависимости между дозами фосфора и увеличением элементов сосудистой системы не наблюдается.

**Томаты.** Измерение ширины зоны либриформы — древесно-волокнистого кольца стебля томатных растений и подсчет числа сосудов ксилемы в окружности стебля показали следующие результаты (табл. 2).

Из данных табл. 2 видно, что фосфорное питание стимулирует образование сосудов ксилемы и древесно-волокнистого кольца стебля томатных растений. Особенно благоприятно отражается на процессе образования сосудов ксилемы удвоенная доза фосфора при обеспеченности растений азотом и калием (NP<sub>2</sub>K), при которой образуется наибольшее число сосудов.

Одностороннее азотное питание не оказывает какого-либо положительного влияния на формирование сосудистой системы стебля томатных растений.

Стимулирующее действие фосфорного питания на дифференциацию сосудисто-волокнистых пучков и образование сосудов ксилемы наблюдалось и у растений картофеля и свеклы, произраставших на соответствующих делянках полевого опыта. Ниже приводятся результаты микроскопических измерений (табл. 3 и 4).

**Картофель.** Внесение фосфорного удобрения под картофель, и особенно удвоенная норма фосфора при одинарной дозировке азота и калия, способствовало дифференциации большего числа сосудисто-волокнистых пучков (табл. 3). На увеличение числа сосудов в пучке заметно лучше действовало и одностороннее применение азотного удобрения.

Общее же число сосудов ксилемы в окружности стебля в связи со значительным увеличением количества сосудистых пучков было повышено при удвоенном фосфорном питании (NP<sub>2</sub>K).

**Свекла кормовая.** Положительное влияние фосфорного питания на образование сосудисто-волокнистых пучков в главной жилке листа свеклы видно из табл. 4; при обеспеченности растений фосфорным питанием увеличивалось число сосудисто-волокнистых пучков, вместе с тем и общее количество сосудов ксилемы.



При этом отмечается и роль калия в образовании сосудов ксилемы, но на дифференциацию сосудисто-волокнистых пучков последний не оказывал положительного влияния. Удвоенная норма фосфора оказалась наиболее благоприятной для образования сосудисто-волокнистых пучков и сосудов ксилемы при условии обеспеченности растений азотом и калием.

Таблица 3

Вариант опыта	Число сосудисто-волокнистых пучков	Число сосудов в пучке	Общее число сосудов
Без удобрения	11	32,7	360
N	12	41,7	500
NP	17	32,9	559
NPK	15	33,2	498
N <sub>2</sub> PK	15	44,0	660
NP <sub>2</sub> K	23	33,5	770

Таблица 4

Вариант опыта	Число сосудисто-волокнистых пучков в главной жилке листа	Число сосудов в пучке	Общее число сосудов в жилке
Без удобрения	3	40	120
N	3	40	120
NP	4	39	156
NPK	4	48	192
NP <sub>2</sub> K	5	55	275

Влияние недостатка фосфорного питания на торможение процесса дифференциации сосудисто-волокнистых пучков сопровождается, видимо, незначительными изменениями других клеточно-структурных элементов, как это наблюдалось при фосфорном голодании сахарной свеклы (<sup>5</sup>).

Таким образом, количественно-анатомические наблюдения показывают, что фосфорное питание оказывает существенное влияние на образование сосудисто-волокнистых пучков и сосудов ксилемы, что, несомненно, связано с особой ролью фосфора в процессах дифференциации сосудистой системы растений.

В проведении работы принимала участие Т. А. Вайс.

Автор выражает благодарность Т. С. Мельниковой, предоставившей возможность снятия образцов подопытных растений с полевых делянок для анатомической обработки.

Научный институт по удобрениям  
и инсектофунгицидам

Поступило  
29 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Б. В. Кедровский, ДАН, 59, № 9, 1639 (1948). <sup>2</sup> Б. В. Кедровский, К. П. Трухачева, ДАН, 60, № 3, 449 (1948). <sup>3</sup> Ж. Браше, Усп. совр. биол., 29, в. 1, 140 (1950). <sup>4</sup> В. Г. Конарев, Тр. Инст. физиол. раст. им. К. А. Тимирязева, 8, в. 2, 299 (1954). <sup>5</sup> М. Белоусов, Свекловичное полеводство, № 9 (1937).

Е. Н. МУХИН и Н. П. ПАНАСЕНКО

**ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ  $\text{Co}^{60}$  НА ПСРАЖАЕМОСТЬ  
КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ МИКРООРГАНИЗМАМИ**

(Представлено академиком А. И. Опариным 9 V 1957)

Исследованиями последних лет убедительно показана возможность задержки прорастания клубней картофеля в период хранения с помощью радиоактивных веществ. Однако успех длительного хранения картофеля зависит не только от задержки прорастания, но и от других факторов, среди которых важнейшую роль играет предохранение клубней от поражения фитопатогенными микроорганизмами. В этой связи значительный интерес представляет выяснение действия  $\gamma$ -излучения  $\text{Co}^{60}$  на устойчивость картофеля к возбудителям заболеваний.

В литературе накоплен довольно обширный материал о действии ионизирующего излучения на микроорганизмы. В исследованиях по этому вопросу (<sup>1-5</sup>) использовались различные источники радиаций и разнообразные виды микроорганизмов. В большинстве случаев облучение вызывает такие изменения в культуре микроорганизмов, которые приводят к угнетению роста или к прекращению его. Эффект в каждом отдельном случае зависит от природы лучей дозы облучения, вида микроорганизмов и их физиологического состояния. Другая сторона проблемы — влияние облучения на устойчивость клубней картофеля к микроорганизмам — оказалась менее изученной. Имеются наблюдения (<sup>6</sup>) о понижении устойчивости тканей картофеля к различным видам *Fusarium* в результате ультра-фиолетового облучения. В отношении действия  $\gamma$ -лучей (<sup>7</sup>) определенных результатов не было получено.

Наши исследования, выполненные в 1955—56 г., проводились в лабораторных условиях с грибом *Phytophthora infestans* De-Bary, возбудителем одного из наиболее распространенных и опасных заболеваний картофеля. Заражение картофеля производилось сразу после облучения. Кроме того, изучалась заболеваемость облученного картофеля при хранении в производственных условиях. Во всех опытах использовался картофель сорта Лорх.

В I серии лабораторных опытов было исследовано действие облучения на рост фитофторы на ломтиках картофеля и на искусственной среде. Заражение ломтиков картофеля грибом производилось в стерильных условиях в чашках Петри. Для заражения использовалась 20-дневная культура гриба. На следующий день после появления мицелия производилось облучение. Проводились наблюдения за ростом и внешним видом мицелия гриба.

На рис. 1 представлено соотношение площади мицелия на контрольных и облученных ломтиках в различные сроки после облучения. Сравнивая полученные данные, можно сказать, что облучение замедляет и подавляет рост гриба, причем тем сильнее, чем выше доза облучения.

Облучение дозой в 10 000 г снижает рост гриба почти вдвое и приводит к полному прекращению роста через 7 дней после облучения. Облучение дозой в 20 000 г снижает рост гриба в 3 раза, рост прекращается через 6 дней. 100 000 г практически убивает гриб в момент облучения. Аналогичные ре-

зультаты дали опыты, проведенные для выяснения влияния облучения на рост фитофторы на искусственной среде. Гриб рассеивался в пробирки на овсяной агар и после появления мицелия облучался дозами 10 000, 20 000 и 100 000 г. Рост гриба оценивался в относительных единицах.

Таблица 1

Влияние облучения на рост *Phytophthora infestans* на искусственной среде (рассев 23 I 1956 г., облучение 30 I 1956 г.)

Дни после облучения	Интенсивность роста мицелия в относит. единицах			
	контроль	10 000 г	20 000 г	100 000 г
6	3	1	1	1
8	3	0,75	1,2	0,75
10	4	0,57	1,7	0,46
18	6	1,2	0,25	0
24	8	1,4	0,62	0

облученных дозой 10 000 г, дал мицелий, ничем не отличающийся от контрольного. При пересеве из пробирок, облученных дозой 20 000 г, рост гриба был подавлен, мицелий представлял собой едва заметный сероватый пушок. Облучение дозой 100 000 г вызывает, по-видимому, гибель конидий; мицелий при пересеве не появляется.

Во II серии опытов было изучено влияние облучения на заражаемость клубней картофеля фитофторой. Опыты проводились следующим образом. Клубни контрольные и облученные дозой 10 000 г заражались грибом путем погружения два-три раза во взвесь мицелия, приготовленную на перегнанной из стекла водопроводной воде. После этого клубни помещались во влажную атмосферу и оставлялись при комнатной температуре (15—18°). В последующие дни проводились наблюдения за появлением колоний гриба и состоянием клубней.

Наблюдения показали (рис. 2), что облученные клубни заражаются сильнее, чем контрольные. Однако здесь необходимо отметить, что клубни контрольные и облученные после помещения их во влажную атмосферу находились в различном физиологическом состоянии. Контрольные клубни сразу же начинали энергично проростать, тогда как облученные клубни оставались в состоянии покоя. Эти различия необходимо учитывать при оценке вышеизложенных результатов.

Для более детального исследования этого вопроса проводились наблюдения за ростом фитофторы на ломтиках облученных и контрольных клубней картофеля. Рассев производился в стерильных условиях на ломтиках, облученных дозами 10 000, 20 000 и 100 000 г. Производился подсчет площади, занимаемой грибом в различные дни после посева.

Были получены следующие результаты (рис. 3). На ломтиках облучен-

В табл. 1 приведены данные одного из опытов, из которых видно, что облучение вызывает ослабление роста фитофторы по сравнению с контролем пропорционально дозе облучения. После облучения дозой 100 000 г рост гриба практически прекращается. С целью проверить устойчивость конидий к облучению производился посев из облученной культуры на свежую питательную среду через 12 дней после облучения. Пересев из пробирок,

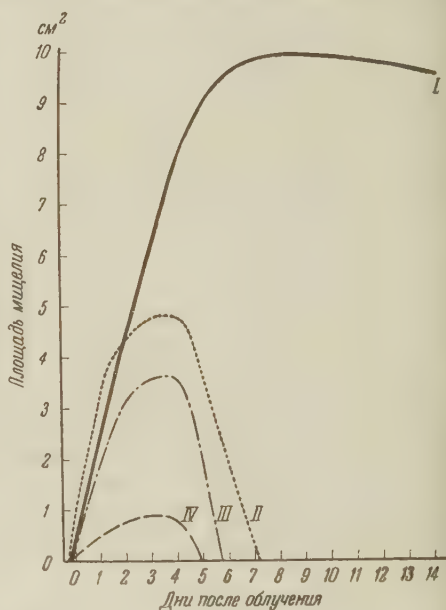


Рис. 1. Влияние облучения на рост *Phytophthora infestans* De-Bary на ломтиках картофеля. I — контроль, II — 10 000 г, III — 20 000 г, IV — 100 000 г



ных клубней гриб рос быстрее, чем на контрольных. Через 6—7 дней после заражения мицелий покрывал всю поверхность ломтиков, а через 9 дней стал сереть, уменьшаясь в размерах. Ломтики картофеля к этому времени почернели и начали гнить. Из рис. 3 видно, что с повышением дозы облучения клубней рост фитоторы увеличивается, и гриб быстрее вызывает гниение субстрата. На ломтиках контрольных клубней гриб растет медленнее, занимает меньшую площадь, и гниение ломтиков не наступает через 12 дней. Результаты последних опытов показывают, что облучение вызывает такие изменения в картофельных клубнях, которые приводят к интенсивному росту фитоторы и быстрому загниванию субстрата.

Параллельно с лабораторными опытами изучалась заболеваемость облученного картофеля в производственных условиях хранения. С целью выяснения влияния облучения  $Co^{60}$  на поражаемость клубней были выбраны наименее благоприятные для хранения условия в ответственный весенний период.

Контрольный и облученный 3 марта дозой 10 000 г картофель по 80 кг каждого варианта, хранился в сетках в верхней части 40-тонного закрома с картофелем. Опытные партии клубней хранились с 16 III по 16 V в условиях непрерывно повышающейся температуры (с 3,1 до 10,4°) и относительной влажности воздуха, близкой к 100%.

Результаты учета показали, что после 2 мес. хранения в партии облученного картофеля оказалось в три раза больше заболевших клубней по сравнению с контрольным вариантом — 14,9% вместо 4,3%. Следовательно, в результате облучения  $Co^{60}$  поражаемость клубней картофеля микроорганизмами заметно увеличилась. Основное количество больных клубней, как облученных, так и контрольных, было поражено грибами *Fusarium* sp. К моменту учета опыта в контрольном варианте 92% клубней проросли, в то время как в варианте с облучением проросших клубней не было.

Таким образом, результаты лабораторных и производственных опытов согласованно свидетельствуют о большей восприимчивости к заражению картофеля, облученного дозами  $\gamma$ -лучей, задерживающими прорастание.

Дальнейшие наблюдения показали, что определенное влияние на заболе-

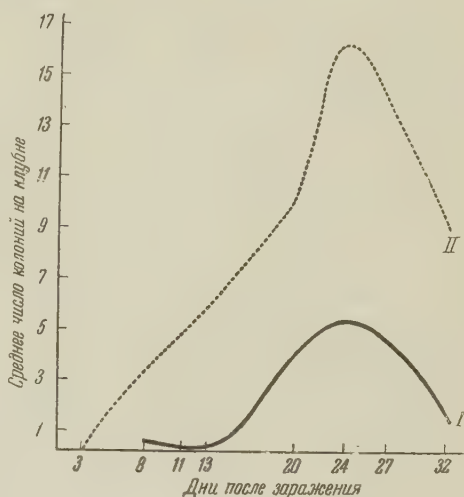


Рис. 2. Влияние облучения на заражаемость клубней картофеля *Phytophthora infestans* De-Bary. Заражение 30 XII 1955 г. Обозначения те же, что и на рис. 1

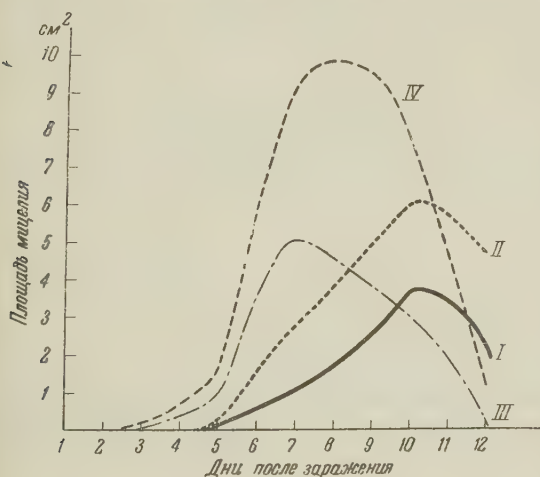


Рис. 3. Рост *Phytophthora infestans* De-Bary на ломтиках облученных и контрольных клубней картофеля. Рассев 24 II 1956 г. Обозначения те же, что и на рис. 1

ваемость облученных клубней картофеля оказывают условия хранения. В следующем опыте облученный и контрольный картофель хранился при благоприятном режиме: в ящиках емкостью 10 кг, при температуре от 0,5 до 6° весной и от 7 до 14° летом и относительной влажности воздуха 90—92%. В весенний период, пока контрольный картофель не пророс, количество больных клубней было примерно одинаковым в обоих вариантах: 2,2% у контрольного и 2,0% у облученного. В этих условиях хранения отрицательного влияния облучения на заболеваемость картофеля не наблюдалось. При дальнейшем хранении в летние месяцы все контрольные клубни изросли, сморщились и потеряли товарную ценность, тогда как облученный картофель совершенно не пророс, лишь некоторые клубни слегка подвяли.

Таким образом, полученные нами данные позволяют заключить следующее.

1. Облучение  $\text{Co}^{60}$  подавляет рост вегетативной формы гриба *Phytophthora infestans* пропорционально дозе облучения.

2. Доза 10 000 г, рекомендуемая для задержки прорастания картофеля при хранении, не оказывает заметного влияния на жизнеспособность конидиальной формы гриба.

3. При неблагоприятных условиях хранения (высокой температуре и высокой относительной влажности воздуха) клубни, облученные дозой 10 000 г, сильнее поражаются фитопатогенными микроорганизмами, если заражение происходит вскоре после облучения.

Предстоит выяснить, какое влияние на устойчивость картофеля оказывает задержка прорастания облученных клубней в весенне-летние месяцы, а также продолжительность периода с момента облучения до заражения.

Хотя более сильное поражение облученных клубней грибами *Phytophthora infestans* и *Fusarium* sp. может зависеть от разных причин, в целом большая заболеваемость картофеля в результате воздействия  $\gamma$ -лучами является следствием глубоких изменений в процессах обмена веществ, вызываемых в тканях клубней ионизирующей радиацией.

Поскольку биологическое действие одной и той же дозы излучения зависит от особенностей и состояния объекта, способа и срока облучения, то можно предполагать, что указанные факторы будут оказывать определенное влияние и на степень устойчивости клубней к микроорганизмам. Поэтому ослабление отрицательного действия  $\gamma$ -излучения на заболеваемость картофеля может быть достигнуто, очевидно, подбором наиболее подходящих условий облучения, с учетом физиологического состояния клубней.

Приносим глубокую благодарность Б. А. Рубину и Л. В. Метлицкому за руководство работой.

Поступило  
6 V 1957

#### ЦИТИРУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> A. Kelner, N. Bellamy et al., Bact. Rev., 19, 22 (1955). <sup>2</sup> М. Н. Мейсель, Сборн. Действие облучения на организм, 1955. <sup>3</sup> В. Н. Morgan, J. M. Reed. Food Res., 19, № 4 (1954). <sup>4</sup> G. E. Stapleton, F. L. Martin, Am. J. Bot., 36, 816 (1949). <sup>5</sup> M. Davis, Arch. Biochem. and Biophys., 48, № 2 (1954). <sup>6</sup> I. Norell, Phys. Plant., 7, № 4 (1954). <sup>7</sup> P. E. Waggoner, Am. Potato J., 32 № 12 (1955).

Х. М. САИДОВА

## О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ФОРАМИНИФЕР В ТОЛЩЕ ОСАДКОВ ОХОТСКОГО МОРЯ

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 9 III 1957)

Изучение распределения современных фораминифер в настоящее время приобретает все большее значение. Заселяя почти все участки морского дна, донные фораминиферы являются надежным индикатором условий среды и могут быть использованы для расчленения четвертичных морских отложений<sup>(1)</sup>. Данные по современным фораминиферам Охотского моря можно найти в основном только в работах З. Г. Щедриной<sup>(2-4)</sup>.

В настоящей работе делается попытка расчленить отложения Охотского моря, вскрытые грунтовыми трубками, на несколько горизонтов на основании смены в них комплексов и группировок донных фораминифер.

Вследствие того, что фораминиферы, найденные в толще осадков, являются в подавляющем большинстве ныне живущими видами, представлялось необходимым в первую очередь детально изучить их современное распространение в Охотском море, выявить и закартировать их основные группировки. Сопоставление данных о современном обитании фораминифер с материалами по распределению их в толще осадков дало возможность сделать вывод об изменении придонных условий моря за время отложения этих осадков.

В целях выделения комплексов и группировок нами изучалось площадное распространение отдельных видов. Материалом послужили поверхностные пробы донных осадков (0—5 см), взятые экспедициями Института океанологии по всей площади Охотского моря. Всего было обработано 700 проб осадка и изучено около 25 500 раковин фораминифер.

Для каждого из 70 изученных видов фораминифер были составлены карты ареалов с данными по количеству экземпляров на каждой станции. Подсчет особей фораминифер проводился из расчета на определенный вес осадка. Сведения по общему количественному распределению донных фораминифер в Охотском море приведены в предыдущей статье<sup>(5)</sup>.

Оконтуривание площадей с равным количеством экземпляров фораминифер проводилось с учетом изменений рельефа дна<sup>(6)</sup>, гранулометрического и отчасти химического состава осадков<sup>(7)</sup>, а также характера придонных водных масс (их температуры, солености и содержания растворенного кислорода). В результате выявились границы ареалов и наиболее благоприятные условия обитания для каждого вида. Рассмотрение ареалов показало, что большинство видов (60%) является стенобионтными и распространены в пределах только материковой отмели, только материкового склона или только глубоководной центральной части моря; из этих видов 15% имеют очень узкие ареалы на отдельных участках выше перечисленных геоморфологических районов моря. Меньшая часть (40%) видов является эврибионтными и имеет широкие ареалы в пределах материковой отмели и склона или в пределах материкового склона и глубоководной центральной части Охотского моря.



В дальнейшем путем сопоставления ареалов в Охотском море были выделены три комплекса фораминифер: материковой отмели (9 группировок), материкового склона (9 группировок) и центральной части моря (3 группировки: котловины Дерюгина, подводных возвышенностей и южной глубоководной котловины).

Для выяснения распределения фораминифер в толще донных отложений Охотского моря были изучены 30 наиболее длинных колонок из различных районов моря. Обычно использовались фракции механического анализа для того чтобы можно было точно сопоставить данные по микрофауне с литологическим составом осадков. Раковины фораминифер во всех колонках имеют хорошую сохранность: не несут следов растворения и окатанности. Фораминиферы, обнаруженные только в колонках и не найденные в поверхностном слое осадков, в Охотском море немногочисленны, всего 3 вида: *Uvigerina echinata* Saidova, *Listerella primaeva* (Gushman) и *Bolivina alata* (Seguenza). Почти во всех колонках отчетливо наблюдается вертикальная смена видового состава фораминифер. Как правило, в каждом районе моря в колонках происходит уменьшение сверху вниз количества относительно более глубоководных видов и появление относительно более мелководных фораминифер. Эта смена в большинстве случаев совпадает со сменой литологического состава осадков. Вертикальное распределение и смена фауны позволяют расчленить пройденные грунтовыми трубками отложения на три горизонта.

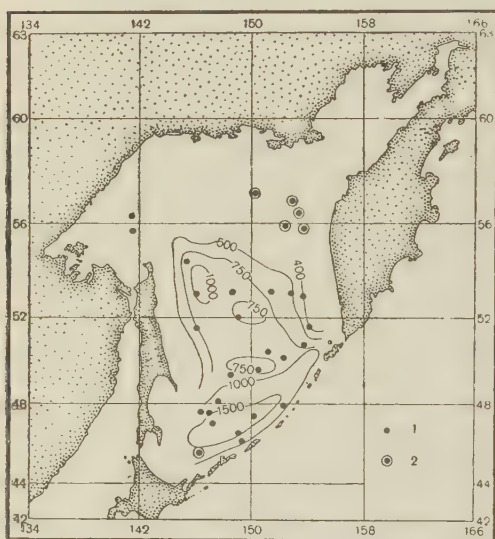


Рис. 1. Минимальные глубины Охотского моря во время отложения второго горизонта (схема): 1 — колонки, вскрывшие второй горизонт, 2 — колонки, не вскрывшие второй горизонт

Первый (верхний) горизонт пройден почти всеми колонками, за исключением двух из котловины ТИНРО, где мощность горизонта более 5,5 м. В южной глубоководной котловине мощность первого горизонта 2—4 м; в котловине Дерюгина 1,5—2 м; у подножья западного склона Камчатки 1,75—2,2 м. На склонах южной глубоководной котловины и котловины Дерюгина мощность верхнего горизонта уменьшается до 1 м; на склонах котловины ТИНРО — до 2,5 м; на склонах подводных возвышенностей Академии наук и Института океанологии — до 1—1,75 м и на самых возвышенностях — до 0,5 м. На широком северном мелководье моря, в его западной части, мощность верхнего горизонта 1,25—1,75 м, а местами, возможно, и больше.

Литологический состав верхнего горизонта в целом совпадает с литологическим составом поверхностного слоя осадков и характеризуется высоким содержанием аутигенного кремнезема, около 30% и более. Видовой состав фораминифер этого горизонта в каждом районе моря соответствует видовому составу их поверхностных группировок.

Таким образом, можно считать, что на протяжении времени отложения осадков верхнего горизонта придонные условия в Охотском море были примерно такими же, как современные.

Второй горизонт вскрыт до конца не всеми колонками, а только взятыми в южной глубоководной котловине и в районе подводных возвышенностей. В южной котловине мощность горизонта достигает 14—20 м, в районе под-

водной возвышенности Академии наук — порядка 9 м, а в районе возвышенности Института океанологии 5—6 м. Таким образом, мощность этого горизонта в центральной части моря уменьшается с юга на север.

Литологический состав второго горизонта, почти во всех колонках более грубый, чем первого. Содержание  $\text{SiO}_{2\text{ввт}}$  в нем резко падает до нескольких процентов, и диатомовые илы отсутствуют. В южной глубоководной котловине и в котловине Дерюгина он сложен в основном алевроитово-глинистыми илами, местами с прослоями мелкоалевритовых илов и крупных алевроитов, в основном представляющих собой вулканические пеплы. На подводных возвышенностях алевроитовые осадки в этом горизонте занимают большую площадь, чем в верхнем горизонте.

На северной материковой отмели, немного западнее о. Ионы, во втором горизонте обнаружен тот же комплекс фораминифер, что и в верхнем горизонте; поэтому можно считать, что придонные условия во время отложения второго горизонта здесь мало отличались от современных. Для более восточной части этой отмели пока данных нет.

На материковом склоне Южной Камчатки для второго горизонта характерно сохранение в основном также современного глубоководного комплекса фораминифер с некоторым увеличением роли эврибионтных видов, общих для материковой отмели и склона Камчатки. Это указывает на то, что если здесь глубины и были меньше, то на незначительную величину, не более 100 м. Характер придонных водных масс, по-видимому, также был близок современному.

В районе подводных возвышенностей центральной части моря второй горизонт характеризуется исчезновением некоторых глубоководных видов (*Bulimina inflata*, *Cyclammina cancellata*, *Valvulineria ochotica*, *Chilostomella derjugini* и все песчаные фораминиферы), характерных для этого района в настоящее время, и преобладанием эврибионтных видов, общих для подножья материкового склона Камчатки и района подводных возвышенностей. Судя по составу фауны, можно думать, что условия во время отложения второго горизонта в этом районе моря были лишь немного более мелководными, чем в настоящее время: глубины порядка от 700 до 1000 м, соленость и температура придонных вод были близки к современным. В настоящее время глубины в этом районе от 950 до 1250 м, температура придонной воды 2,0—2,4° и соленость 34,0—34,5‰

В котловине Дерюгина во втором горизонте наряду с видами первого горизонта появляются в небольшом количестве более мелководные и холодно-водные виды, характерные в настоящее время для группировок материкового склона: *Cassidulina californica*, *Virgulina complanata*, *Nonionella digitata*, *Elphidium clavatum*, *Pullenia subcarinata* — и северной материковой отмели: *Nonion labradoricum*, *Nonion grateloupi*, *Cassidulina laevigata*, *Elphidium orbiculare*, *Elphidium göesi*. Такой видовой состав указывает на то, что этот район был более мелководный, чем в настоящее время, и глубины здесь были порядка от 700 до 1000 м; влияние холодных охотоморских водных масс при этом более отражалось на придонных водах, чем в настоящее время.

В южной глубоководной котловине во втором горизонте появляются наряду с глубоководными видами относительно более мелководные и тепло-водные виды, чем в первом горизонте: *Uvigerina ochotica*, *Cassidulina delicata*, *Cassidulina laevigata*, *Gyroidina soldanii*, *Gyroidina orbicularis*, *Nonion scaphum*, *Miliolina circularis*, *Robertina arctica* и др. характерные в настоящее время для района подводных возвышенностей и склона Курильской гряды. Такой разнообразный видовой состав второго горизонта говорит о том, что южная глубоководная котловина имела меньшие глубины (порядка 1500—2000 м), чем во время отложения первого горизонта. Придонные воды здесь были близки к придонным водам района подводных возвышенностей (см. выше). В настоящее время глубины здесь 3000—3300 м, температура придонной воды 1,7—1,8° и соленость более 34,7‰<sub>00</sub>. Более



разнообразный видовой состав фораминифер второго горизонта, по сравнению с современной группировкой котловины, позволяет предположить, что застойные явления вод на дне проявлялись в меньшей степени, чем сейчас. Предполагаемые глубины Охотского моря во время отложения второго горизонта изображены на рис. 1.

Третий горизонт вскрыт колонками только в южной глубоководной котловине и на подводных возвышенностях, но до конца нигде не пройден. Литологически он представлен в этих районах в основном мелкоалевритовыми илами. В южной глубоководной котловине в нем найдены в основном те же виды, что и во втором горизонте, но наряду с ними появляются некоторые еще более мелководные и холодноводные виды, характерные для современных группировок склона Сахалина и Камчатки для глубин от 100 до 1000 м: *Bulimina exilis*, *Pseudoparella pacifica*, *Ehrenbergina bradyi*, *Pullenia subcarinata*, *Cibicides variabilis*, *Nonion labradoricum*, *Elphidium* sp., *Miliolina angularis*, *Pyrgo murrhyna*, *Virgulina complanata*.

Появление этих видов позволяет предположить, что во время отложения третьего горизонта условия здесь были несколько более мелководные и холодноводные, чем при отложении второго горизонта. Глубины, по-видимому, были порядка 1000—1500 м, придонные воды были близки к современным придонным водам подножья склонов Камчатки и Сахалина.

В районе подводных возвышенностей Академии наук и Института океанологии в отложениях третьего горизонта также появляются, наряду с видами, найденными во втором горизонте, более мелководные виды, в больших количествах живущие на глубинах порядка 500—1000 м: *Miliolina angularis*, *Cassidulina californica*, *Ehrenbergina bradyi*, *Bolivina decussata* и др., а также вид *Uvigerina echinata*, не найденный в Охотском море в вышележащих отложениях. Подобное изменение видового состава говорит о том, что в этом районе моря во время отложения третьего горизонта глубины были меньше по сравнению со временем второго горизонта, порядка от 500 до 700 м, а придонные воды были близки к современным водам склонов Камчатки и Сахалина.

Из полученного нами материала видно, что на протяжении всего времени накопления осадков, вскрытых грунтовыми трубками, Охотское море испытывает постепенное погружение. Южная глубоководная котловина несомненно существовала уже во время отложения третьего горизонта, но испытала интенсивное опускание в конце времени этого горизонта, и во время отложения второго горизонта. В это же время значительно опустилось дно и котловины Дерюгина. В эпоху же второго горизонта здесь были глубины примерно такие же, как в районе подводных возвышенностей, — порядка от 700 до 1000 м.

Судя по общему облику фауны фораминифер, отложения, вскрытые колонками, относятся к четвертичному периоду. Два нижних горизонта, по данным литологического и диатомового анализов, вероятно, соответствуют плейстоцену, но сопоставить каждый из них с определенными эпохами по фораминиферам не представляется возможным. Судя по характеру фауны фораминифер, крупные климатические изменения, имевшие место в плейстоцене, на придонных условиях Охотского моря не отразились. Следует подчеркнуть, что в течение всего времени накопления осадков, вскрытых грунтовыми трубками, изученных районах моря сохранялись нормальные морские условия, и никаких опресненных бассейнов здесь не было.

Институт океанологии  
Академии наук СССР

Поступило  
6 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Х. М. Саидова, ДАН, 93, № 1 (1953). <sup>2</sup> З. Г. Щедрина, Исслед. Дальневосточных морей СССР, в. 2 (1950). <sup>3</sup> З. Г. Щедрина, Тр. Зоол. инст. АН СССР, 13 (1953). <sup>4</sup> З. Г. Щедрина, Тр. проблемных и тематических совещаний Зоол. инст., в. 6 (1956). <sup>5</sup> Х. М. Саидова, ДАН, 114, № 6 (1957). <sup>6</sup> П. Л. Безруков, Г. Б. Удинцев, ДАН, 91, № 2 (1953). <sup>7</sup> П. Л. Безруков, ДАН, 103, № 3 (1955).



Д. П. КЛАДИЕНКО и Р. А. НАДОПТА

**ВЛИЯНИЕ АЗОТНОКИСЛОГО УРАНА НА РАЗВИТИЕ  
И МЕТАМОРФОЗ ГОЛОВАСТИКОВ ЗЕЛЕННОЙ ЛЯГУШКИ  
(RANA ESCULENTA)**

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 20 V 1957)

Хотя биологическая роль микроэлементов уже в значительной мере освещена в литературе <sup>(2)</sup> значение урана, как микроэлемента, для живых организмов изучено мало и самый факт его принадлежности к микробиоэлементам установлен сравнительно недавно <sup>(5)</sup>. Показано, что в организме наибольшее количество урановых соединений находится в щитовидной железе. Уран был найден также в эмбриональных органах человека. В связи с фактами нахождения урана в щитовидной железе, мы решили проверить влияние его на развитие и метаморфоз головастика.

Оплодотворенная икра зеленой лягушки от одной самки распределялась поровну в банки с различной концентрацией азотнокислого урана: 1, 10, 20, 30, 50, 80, 200 мг на 1 л воды. Критериями для суждения о влиянии этих растворов на развитие икринок лягушки служили: 1) появление билатеральной симметрии у развивающихся головастика и освобождение от окружающей их слизи; 2) время перехода к свободному передвижению; 3) выживаемость развившихся головастика.

Наблюдения в течение 10 дней показали, что уран для головастика не является индифферентным элементом. Хотя он не оказывал влияния на развитие билатеральной симметрии, но он в наших опытах заметно ускорял переход головастика к свободному передвижению и усиливал выносливость подопытных животных на более поздних стадиях. Даже при высокой температуре окружающей среды (30—32°) головастики в растворах азотнокислого урана еще долго жили после гибели контрольных. Повторные опыты дали такие же результаты.

Так как выносливость и устойчивость организма тесно связаны с обменными процессами, а последние обуславливаются нервной и эндокринной системами, то, естественно, возник вопрос о характере воздействия на функцию щитовидной железы. Для проверки этого вопроса мы решили экспериментально выяснить, как влияют разные концентрации урана на метаморфоз головастика. С этой целью в банки с растворами азотнокислого урана в концентрациях: 1, 10, 20, 30, 50, 80 мг на 1 л воды были посажены по 10 головастика в каждую банку. Контролем служили 10 головастика, помещенные в банку с чистой водой. Все головастики были одного помета. Через 10 дней как в контроле, так и в опыте у головастика появились зачатки задних конечностей. Гистологически у контрольных головастика можно было констатировать десквамацию клеток слизистой кишечника, у опытных же этого не наблюдалось. Через 17 дней контрольные головастики погибли, очевидно, под влиянием высокой температуры среды, 31°; при этом у них были заметно выросшие зачатки задних конечностей; гистологически у них было констатировано начало образования складок слизистой кишечника. Головастики, находившиеся в растворах урана, жили еще 35 дней после гибели контрольных, однако никаких дальнейших признаков метаморфоза—

ни внешних, ни внутренних — у них не наблюдалось. Эти головастики плохо росли и были лишь на 2 мм длиннее, чем в первые дни опыта.

Этот опыт подтвердил, что уран усиливает выносливость головастиков к вредным воздействиям среды и показал, что в концентрациях, использованных в наших опытах, он угнетает метаморфоз и рост подопытных животных.

Далее мы поставили еще один опыт с гипертиреодизацией головастиков с добавлением урана и без него. В широкие 5-литровые банки было помещено по 30 головастиков. 20 г свежей бычьей железы растирали в ступке с толченым стеклом, полученная кашица была разбавлена в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и отцентрифугирована. Затем в воду добавляли вытяжку и уран из расчета 2 см<sup>3</sup> вытяжки и 1, 10, 50 мг азотнокислого урана на 1 л воды. Для контроля в одной из банок была только вытяжка, — без урана и в одной банке чистая вода.

Показателями метаморфического процесса служили как внешние признаки: закладка задних и передних конечностей, укорочение хвоста, состояние рогового аппарата, так и гистологические данные о состоянии кишечника и жабр (см. табл. 1).

Таблица 1

Динамика метаморфического процесса при гипертиреодизации головастиков в растворах азотнокислого урана и без него

№№ банок		День начала появления признаков метаморфоза													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	15	18
1	Контроль — чистая вода	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	+	0000
2	С вытяжкой, но без аз.-кисл. урана	—	—	—	—	—	+	+	+	+	+	++	+++	+	0000
3	Вытяжка + аз.-кисл. уран, 1 мг/л	—	—	—	—	—	+	+	+	+++	++	++++	++++	00	0000
4	Вытяжка + аз.-кисл. уран, 10 мг/л	—	—	—	—	—	+	+	+	+++	+++	++++	++++	00	0000
5	Вытяжка + аз.-кисл. уран, 50 мг/л	—	—	—	—	—	+	+	+	+++	+++	++++	++++	000	0000

Примечание. — Признаков метаморфоза нет, + появление зачатка задних лапок, ++ укорочение хвоста, +++ появление зачатка левой передней лапки, ++++ зачаток правой передней лапки, 0 — гибель головастиков.

Анализ данных табл. 1 показывает, что метаморфоз головастиков проходит не с одинаковой скоростью. В банке № 2 с вытяжкой из щитовидной железы зачатки задних конечностей у головастиков появились на 6 день опыта, чему предшествовали некоторые изменения в слизистой кишечника, как например, отторжение клеток слизистой, в то время как в чистом контроле эти признаки появились лишь на 9 день опыта.

У головастиков, находившихся в банках №№ 3, 4, 5, в которые кроме вытяжки щитовидной железы был добавлен уран, эти признаки появились одновременно с банкой № 2, но уже на 8 день опыта в банках №№ 4 и 5 у головастиков наступило укорочение хвоста, на 9 день появился зачаток передней левой конечности, на 10 день в банке № 5 появилась уже передняя правая конечность. При этом роговые челюсти отторгаются, кишечник сильно укорочен, слизистая кишечника образует многочисленные складки.

В банке № 2 на 10 день опыта у головастиков наблюдались только отросшие зачатки задних конечностей. В полости кишечника много отторженных клеток, а в слизистой начиналось образование складок. На 11 день опыта началось укорочение хвоста и имелись складки в слизистой кишечника, а в банках №№ 3, 4, 5 все головастики уже имели правую переднюю конечность, чему предшествовали внутренние изменения — слизистая кишечника приобрела складчатый вид, кишечник сильно укорочен, началась дегенерация жаберного аппарата, отпадение рогового аппарата, чего в банке № 2 еще не было.

На 13 день опыта в банке № 2 у головастиков появилась закладка левой передней конечности, но к концу дня животные погибли. В банках №№ 3, 4, 5 все головастики метаморфозировали, в банке № 5, где метаморфоз проходил более интенсивно чем в банках №№ 3 и 4 часть головастиков погибла. Остальные в виде крошечных лягушек жили еще 2 дня и погибли на 15 день опыта.

В банке № 1, в чистом контроле, метаморфоз головастиков проходил медленно, вяло. На 18 день опыта у них лишь заметно отросли зачатки задних конечностей. В слизистой кишечника были в незначительном количестве образованы складки. Головастики погибли с незаконченным метаморфозом. Вообще же, как известно из литературы (<sup>1,4</sup>), метаморфозирование в опыте головастики погибают вследствие интоксикации тироксином или преобладания деструктивных процессов над пролиферативными. В настоящем же случае необходимо учесть также влияние высокой температуры окружающей среды.

В предыдущем опыте мы показали, что уран тормозит процесс метаморфоза. Между тем, в опыте с гипертиреозидизацией путем добавления тироксина извне обнаружилось, что азотнокислый уран в сильной степени активизирует действие тироксина.

Не вдаваясь в подробный анализ кажущейся противоречивости результатов этих двух серий опытов, мы можем сравнить действие азотнокислого урана в наших опытах с действием некоторых ингибиторов щитовидной железы: тиомочевинной, тиюрацилом и др., которые блокируют фолликулярные клетки щитовидной железы и этим тормозят гормонообразовательную функцию. В случае искусственного метаморфоза под влиянием тироксина, тиомочевина (<sup>3</sup>) не угнетает, а усиливает действие тироксина. Можно полагать, что в данном случае уран по своему действию уподобляется тиомочевине.

Череповецкий государственный  
медицинский институт

Поступило  
X 1956

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Б. В. Алешин, Биол. журн., 4, № 3, 461 (1935). <sup>2</sup> А. О. Войнар, Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека, М., 1953. <sup>3</sup> М. Г. Закс, Усп. совр. биол., 23, в. 1, 37 (1947). <sup>4</sup> Н. Б. Медведева, Экспериментальная эндокринология, Киев, 1946, <sup>5</sup> J. Hoffman, Bioch. Zs., 313, H. 5—6 (1943).



В. Б. МАЛКИН

## К ВОПРОСУ О ПРЕКРАЩЕНИИ ФИБРИЛЛЯЦИИ ЖЕЛУДОЧКОВ СЕРДЦА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СТИМУЛОМ

(Представлено академиком Л. С. Штерн 18 III 1957)

Впервые возможность восстановления нормальной деятельности фибрилирующего сердца действием сильного электрического стимула — переменным током высокого напряжения (4800 в) была установлена в 1898 г. Прево и Баттелли<sup>(3)</sup>. Позднее этим авторам удалось прекратить фибрилляцию желудочков сердца и одиночным сильным электрическим разрядом. Этот метод оказался успешным лишь при наложении одного из электродов непосредственно на сердце.

В дальнейшем исследователи, успешно использовавшие в опытах на собаках для прекращения фибрилляции желудочков переменный ток, указывали различные пороговые величины силы тока, необходимого для прекращения фибрилляции<sup>(5-7)</sup>. Использование упомянутыми выше авторами переменного тока не всегда определенной продолжительности (от 0,1 до 0,5 сек.) и различная длительность состояния фибрилляции до воздействия электрическим током были, очевидно, причиной, затруднявшей достаточно точное определение пороговой величины электрического стимула, необходимого для прекращения фибрилляции. Разработанный под руководством академика Л. С. Штерн, Н. Л. Гурвичем и Г. С. Юньевым<sup>(1)</sup> конденсаторный метод прекращения фибрилляции позволил в связи с использованием одиночного электрического стимула строго постоянной длительности провести точное определение пороговой величины электрического стимула, необходимой для прекращения фибрилляции.

Нами было проведено исследование пороговой величины электрического стимула, прекращающего фибрилляцию при различной ее продолжительности. Исследование этого вопроса имеет определенное практическое значение для клиники.

Эксперименты ставились на собаках. Как известно, у половозрелых собак фибрилляция желудочков сердца спонтанно не прекращается и ведет к смерти животного.

Перед началом опыта у испытуемого животного тщательно выстригалась шерсть по бокам грудной клетки. На месте, где наиболее четко прощупывался сердечный толчок, накладывались металлические круглые ( $r=3$  см) электроды, обвернутые марлей, смоченной соевым раствором. Электроды прижимались к обеим сторонам грудной клетки посредством туго натянутой резиновой ленты. Фибрилляция сердца вызывалась пропусканием через грудную клетку городского тока в 110—120 в, продолжительностью в 1—2 сек. Продолжительность состояния фибрилляции отмечалась секундомером. Фибрилляция прекращалась одиночным конденсаторным разрядом, произведенным через индуктивное сопротивление (емкость — 6 мф, индуктивное сопротивление 0,3 гн), по методике, разработанной Н. Л. Гурвичем. Для определения порога конденсаторные разряды производились с последовательным нарастанием напряжения. О величине порога напряжения мы судили по показаниям специально сконструированного киловольтметра с большим омическим сопротивлением. Пороговые величины определялись

в отдельных испытаниях при продолжительности фибрилляции в 15, 30, 45, 60 сек. и 3 мин.

Во всех экспериментах у животных снималась электрокардиограмма. В 12 опытах одновременно с ЭКГ производилась также и запись кровяного давления. Промежутки между отдельными испытаниями колебались, в зависимости от длительности фибрилляции, от 15 мин. до 1 часа. В некоторых опытах пороги определялись для каждой продолжительности фибрилляции повторно. В большинстве опытов определение порогов начиналось с продолжительности фибрилляции в 15 сек., с дальнейшим постепенным ее увеличением.

Проведенные на 27 собаках эксперименты показали, что порог напряжения конденсаторного разряда, прекращающего фибрилляцию, повышается при увеличении продолжительности фибрилляции.

При увеличении времени фибрилляции с 15 до 30 сек. у 8 из 27 подопытных собак отмечалось некоторое повышение порога. Увеличение времени фибрилляции с 15 до 60 сек. привело к заметному повышению порога уже у 20 из 26 подопытных собак. В отдельных опытах повышение порога достигало значительных величин, например в одном опыте более чем в два раза. Только у 6 собак не было отмечено повышения пороговой величины конденсаторного разряда. Однако у 4 из этих 6 собак, у которых был определен порог для прекращения фибрилляции, продолжавшейся 3 мин., повышение порога оказалось весьма значительным.

Таким образом, представляется вероятным, что у животных, у которых не отмечается повышение порога конденсаторного разряда, прекращающего фибрилляцию в течение 60 сек., все же наблюдается повышение пороговой величины при увеличении продолжительности фибрилляции до 3 мин.

При увеличении длительности фибрилляции до 3 мин. отмечалось столь резкое повышение порога, что только в 4 из 14 исследований нам удалось прекратить фибрилляцию одиночным конденсаторным разрядом максимальной для нашей установки величины (6500—7000 в). В остальных опытах фибрилляцию удавалось прекратить только серией быстро следующих друг за другом конденсаторных разрядов.

Последнее указывает на значительное повышение порога для этой продолжительности фибрилляции, так как установлено <sup>(2)</sup>, что повторные разряды прекращают фибрилляцию при значительно меньшем напряжении по сравнению с одиночным разрядом.

Наши опыты показали определенную взаимосвязь между продолжительностью фибрилляции желудочков и последующим после прекращения фибрилляции течением у животных процессов восстановления сердечной деятельности, кровяного давления и дыхания. Было отмечено, что с возрастанием продолжительности фибрилляции понижается уровень кровяного да-

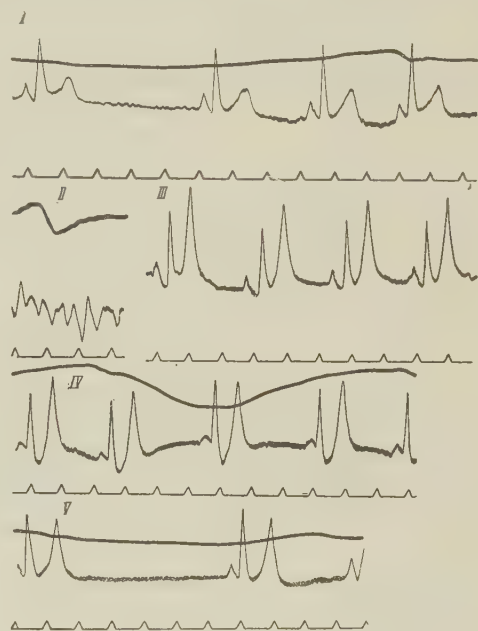


Рис. 1. Электрокардиограммы в эксперименте с 30-секундной фибрилляцией: I — норма, II — фибрилляция желудочков после действия переменного тока, III — через 10 сек. после прекращения фибрилляции, IV — через 30 сек. после прекращения фибрилляции, V — через 1 мин. после прекращения фибрилляции. Верхняя кривая — запись дыхания

ления, регистрируемый после прекращения фибрилляции. После прекращения фибрилляции, продолжавшейся 15—30 сек., отмечается быстрый подъем кровяного давления до величины, на 20—80% превышающей нормальную величину кровяного давления, учащение сердечных сокращений

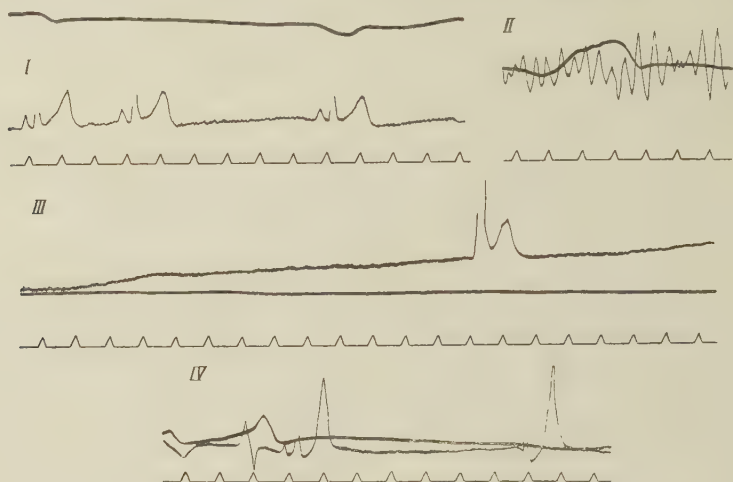


Рис. 2. Электрокардиограмма в эксперименте с 60-секундной фибрилляцией: I — норма; II—фибрилляция желудочков после действия переменного тока, III—через 10 сек. после прекращения фибрилляции, IV—через 30 сек. после прекращения фибрилляции; восстановление дыхания

и учащение дыхания. Резкое поднятие кровяного давления, учащение сердечных сокращений и учащение дыхания, наблюдаемое после прекращения фибрилляции желудочков, длительностью в 15—30 сек., может

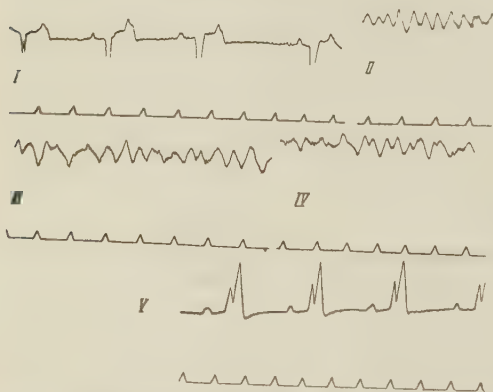


Рис. 3. Электрокардиограмма в эксперименте с 3-минутной фибрилляцией: I — норма, II—через 60 сек. после действия городского тока (фибрилляция), III — через 2 мин., IV — через 3 мин., V—через 20 сек. после прекращения фибрилляции

быть объяснено тем, что 15—30-секундное прекращение кровообращения во время фибрилляции приводит к кратковременной асфиксии, вызывающей поднятие тонуса сосудодвигательного и дыхательного центров и повышение тонуса центров симпатической нервной системы. Кровяное давление после прекращения фибрилляции, продолжавшейся 45—60 сек., поднималось постепенно от низкого уровня (45—30 мм рт. ст.) до нормы. Размах пульсовой волны при этом значительно увеличен. Частота сердечных сокращений в первые 20—30 сек. после прекращения 60-секундной фибрилляции значительно снижена. Ритмичное дыхание, как правило,

расстраивалось, отмечалось апноэ длительностью в 10—30 сек.

Результаты этих опытов показывают, что полное отсутствие кровообращения в течение 60 сек., вызванное возникновением фибрилляции, приводит к значительному снижению функциональной активности сосудодвигательного и дыхательного центров и рефлекторному торможению сердечной деятельности.



Электрокардиографические исследования показали, что после прекращения фибрилляции желудочков, продолжавшейся до 30 сек., не отмечается серьезных нарушений деятельности сердца. Как правило, на ЭКГ отмечается лишь синусовая тахикардия и увеличение зубца Т (рис. 1). После прекращения фибрилляции, длившейся 60 сек., на ЭКГ часто отсутствует зубец Р — отмечается узловой ритм, желудочковый комплекс деформируется, вследствие смещения вверх интервала S — Т и увеличения зубца Т. Время проведения возбуждения по желудочкам удлиняется (рис. 2).

У животных после прекращения фибрилляции желудочков, длившейся 3—4 мин., отмечалось отсутствие эффективной сердечной деятельности. На ЭКГ в этих опытах синусовый ритм, как правило, отсутствовал, желудочковый комплекс был значительно деформирован, часто принимая форму монофазного колебания (рис. 3).

Таким образом, электрокардиографическое изучение сердечной деятельности после прекращения фибрилляции желудочков различной продолжительности показывает закономерное возрастание патологических изменений в связи с увеличением продолжительности времени фибрилляции. Характер нарушения сердечной деятельности при этом дает право считать, что эти изменения связаны с кислородным голоданием.

Установленное в настоящем исследовании повышение пороговой величины прекращающего фибрилляцию электрического стимула при возрастании продолжительности фибрилляции обусловлено развитием ишемической гипоксии, изменяющей функциональное состояние как самого сердца, так и регулирующего его деятельность нервного аппарата. Острое кислородное голодание сопровождается, очевидно, увеличением существующего в норме гетерохронизма между отдельными элементами миокарда, что и способствует установлению стойкого кольцевого ритма возбуждения, т. е. сохранению фибрилляции.

Поступило  
6 III 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Н. Л. Гурвич, Г. С. Юнъев, Бюлл. эксп. биол. и мед., 8, 55 (1939).  
<sup>2</sup> Н. Л. Гурвич, Бюлл. эксп. биол. и мед., 20, № 3, 55 (1945). <sup>3</sup> L. Prevost, F. Battelli, J. Physiol. et Pathol. Génér., № 1, 41 (1899). <sup>4</sup> L. Prevost, F. Battelli, J. Physiol. et Pathol. Génér., № 2, 40 (1900). <sup>5</sup> D. R. Hooker, Am. J. Physiol., 91, 305 (1929). <sup>6</sup> C. J. Wiggers, Am. Heart J., 20, 413 (1940). <sup>7</sup> Х. Бурмейстер, Сборн. Вопросы патологии сердечно-сосудистой системы (перевод), № 6, 125 (1956).

С. Н. РОМАНОВ

## ИЗМЕНЕНИЯ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ НЕЙРОНОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА МЫШЕЙ ПРИ РАЗДРАЖЕНИИ РЕЦЕПТОРОВ ЖЕЛУДКА

(Представлено академиком К. М. Быковым 18 V 1957)

В настоящее время накоплен большой фактический материал, касающийся кортико-висцеральных связей (<sup>1-5</sup>). Однако механизм этих связей изучен недостаточно; нет систематических исследований изменений, наступающих в нейронах при раздражении рецепторов внутренних органов. Нам кажется, что для этих целей с успехом может быть применена методика прижизненного окрашивания, так как она дает возможность улавливать субстанциональные изменения в нейронах как в момент раздражения, так и в различные сроки после него.

Известны лишь две работы (<sup>6-7</sup>), посвященные исследованию нейронов коры при раздражении интероцепторов, в которых использовалась методика прижизненного окрашивания мозга *in situ*.

В данной работе была использована методика прижизненного окрашивания головного мозга *in vitro*. С помощью этой методики изучались сорбционные свойства коры мозга при раздражении рецепторов желудка.

Ранее, в ряде работ было показано, что нервные импульсы вызывают изменения сорбционных свойств протоплазмы клеток (<sup>8-9</sup>). На основании этих данных мы можем предположить, что если импульсы от интероцепторов доходят до клеток коры, то в последних следует ожидать тех или иных изменений сорбционных свойств.

Работа проведена на мышах. У животного под легким эфирным наркозом вскрывалась брюшная полость и обнажался желудок. После того, как проходило наркотическое состояние, желудок подвергался сильному ожогу.

В I серии опытов ожогу подвергалась слизистая оболочка желудка введенным в него 1 мл рингеровского раствора, нагретого до кипения. Во II серии опытов ожог наносился на серозную оболочку желудка — наложением ватного тампона, смоченного горячим раствором Рингера. В III серии опытов в качестве раздражителя применялся скипидар, которым смазывался определенный участок серозной оболочки желудка.

В различные сроки после нанесения ожога животные убивались, извлекался головной мозг, который после 10-минутного пребывания в растворе Рингера, помещался в краситель на 15—30 мин. По истечении этого срока мозг споласкивался в дистиллированной воде и помещался в подкисленный спирт для экстракции сорбированного красителя. Количество экстрагированного красителя определялось с помощью электрофотокolorиметра и пересчитывалось на единицу веса. Полученные величины выражались в процентах к контролю. Контролем служил головной мозг другой мыши, которая подвергалась тем же операциям, за исключением ожога.

Как видно из описания методики, применяемые нами раздражители являются весьма грубыми и трудно дозируемыми. Однако мы нарочито пользовались такими раздражителями, чтобы более отчетливо выявить наличие изменений сорбционных свойств нейронов коры головного мозга при раздражении желудка.

В I серии опытов после введения горячего раствора животное убивалось сразу же или через 5, 10, 20, 40, 60 и 120 мин. Всего было поставлено 78 опытов.

Полученные результаты изображены графически на рис. 1 а, из которого видно, что через 5 мин. после нанесения ожога головной мозг обнаруживает повышенное сродство к красителю. Хотя это повышение сравнительно невелико и составляет в среднем 12,1%, однако статистически оно достоверно. В дальнейшем величина сорбции значительно снижается. Через 40 мин. после нанесения ожога она оказывается на 9,6% ниже контроля. Эта величина также статистически достоверна. Через 2 часа после нанесения ожога величина сорбции в опыте и контроле практически одинакова.

Результаты данной серии опытов показывают, что импульсы, идущие от рецепторов желудка, вызывают в нейронах головного мозга изменения белкового субстрата, выражающиеся в изменении сорбционных свойств нейроплазмы.

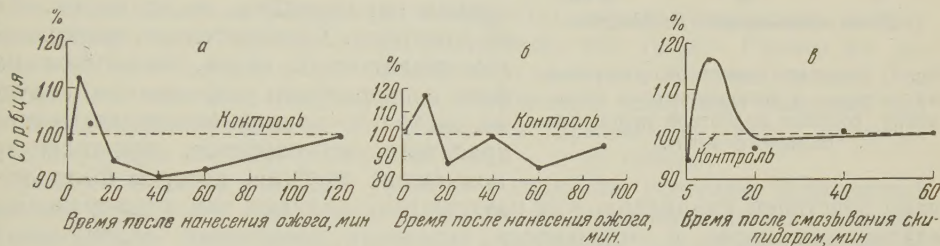


Рис. 1. Изменения величины сорбции красителя нейронами головного мозга при раздражении слизистой оболочки желудка. а — ожог слизистой, б — ожог серозы, в — раздражение серозы скипидаром

Во II серии опытов ожогу подвергалась, примерно,  $1/3$  поверхности серозной оболочки желудка.

Головной мозг извлекался или сразу после нанесения ожога, или через 10, 20, 40, 60 и 90 мин. Всего было поставлено 36 опытов.

Данные этой серии опытов (рис. 1 б) в основном совпадают с таковыми I серии опытов. В обоих случаях в начале наблюдается увеличение связывания красителя, в дальнейшем величина сорбции снижается и длительное время оказывается ниже уровня контроля.

В III серии опытов после смазывания серозной оболочки желудка скипидаром животные убивались через 5, 10, 20, 40 и 60 мин. Всего было поставлено 66 опытов.

В этой серии опытов (рис. 1 в) мы наблюдали, так же как и в предыдущих сериях, что в первые минуты после нанесения раздражения на желудок нейроны коры головного мозга животного обнаруживают повышенную сорбционную способность; через 10 мин. превышение сорбции составляет в среднем 16,5%. При этом, как и в предыдущих опытах, эта величина статистически достоверна. Однако в этой серии опытов фаза пониженной сорбции не наблюдалась.

Полученные результаты трех серий опытов позволяют сделать вывод, что импульсы, идущие от рецепторов желудка, доходят до нейронов коры\* головного мозга и вызывают в них субстанционные изменения, о которых мы судим по изменению величины связывания красителя.

Следует отметить, что несмотря на столь сильное раздражение желудка, нам никогда не удавалось наблюдать таких резких сдвигов сорбционных свойств нейронов головного мозга, какие мы наблюдали при раздражении седалищного нерва<sup>(10)</sup>. Возможно, что в этом проявляется различие в дей-

\* Мы говорим о нейронах коры на том основании, что при тотальном погружении головного мозга в краситель окрашивается лишь поверхностный слой, т. е. кора мозга.



ствии импульсов, идущих с экстеро- и интероцепторов. Однако для решения этого вопроса необходимы дальнейшие исследования.

Нам казалось логичным предположить, что изменения сорбционных свойств нейронов головного мозга можно усилить одновременным раздражением интеро- и экстероцепторов. С этой целью были поставлены следующие опыты.

Серозная оболочка желудка мыши смазывалась скипидаром, а через 10 мин. после этого седалищный нерв обеих конечностей раздражался индукционным током в течение 5 мин. каждый. Затем животные убивались в различные сроки после прекращения раздражения.



Рис. 2. Влияние совместного раздражения экстеро- и интероцепторов на величину сорбции красителя нейронами головного мозга

Как видно из рис. 2, результаты оказались неожиданными. Вместо предполагаемого усиления окрашивания мы получили окрашивание, не отличающееся от контроля. Следовательно, раздражение седалищного нерва, наносимое на фоне непрерывного раздражения желудка, не только не увеличивает связывание красителя, но наоборот, устраняет то повышение сорбции, которое было вызвано действием скипидара. Как раздражение желудка, так и раздражение седалищного нерва в отдельности вызывают повышение сорбционных свойств в нейронах коры головного мозга, а при совместном раздражении этих изменений не наблюдается.

Этот факт должен стать предметом дальнейших исследований. В настоящее время можно лишь высказать одно из возможных предположений, что импульсы с экстеро- и интероцепторов на пути к нейронам коры мозга должны проходить через одно и то же структурное образование. Этим создаются условия для возникновения парабิโอ́за при столкновении импульсов с интеро- и экстероцепторов. Парабиотический участок блокирует импульсы, идущие к нейронам коры, вследствие чего мы и не наблюдаем в них изменений сорбционных свойств. Это предположение нуждается в дальнейшем экспериментальном обосновании.

Институт физиологии им. И. П. Павлова  
Академии наук СССР

Поступило  
13 V 1957

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> К. М. Быков, Избр. произв., 2, М., 1954. <sup>2</sup> В. Н. Черниговский, Тр. Воен.-Морск. мед. акад., 17, 395 (1949). <sup>3</sup> И. Т. Курцин, Принципы кортико-висцеральной физиологии и патологии, Л., 1954. <sup>4</sup> Э. Ш. Айрапетьянц, Высшая нервная деятельность и рецепторы внутренних органов, М., 1952. <sup>5</sup> И. А. Булыгин, Тр. Инст. физиол. АН БССР, 1, 1956, стр. 7—21, 154—170. <sup>6</sup> С. В. Левин, Бюлл. эксп. биол. и мед., 33, 4, 36 (1952). <sup>7</sup> С. В. Левин, Тр. 9 Научн. конфер. курс. и слушателей III факультета Воен.-Морск. мед. акад., 1953, стр. 16—38. <sup>8</sup> С. Н. Романов, ДАН, 41, № 4, 761 (1948). <sup>9</sup> Б. П. Ушаков, Уч. зап. ЛГУ, № 33, сер. биол., в. 16 (1949). <sup>10</sup> С. Н. Романов, ДАН, 115, № 4 (1957).

ПАРАЗИТОЛОГИЯ

Е. С. ТУРЛЫГИНА

**ОБ ИЗМЕНЕНИИ ДЫХАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА У РАСТЕНИЙ  
ПОД ВЛИЯНИЕМ ГАЛЛОВОГО НЕМАТОДОЗА**

(Представлено академиком К. И. Скрябиным 4 XII 1956)

Галловая нематода (*Meloidogyne incognita*), поражая корневую систему растений, образует на последней утолщения, или галлы. Размер их достигает 20 мм и более и может доходить до величины детского кулака. Эти образования, как и всякие опухоли, несомненно, нарушают обычный ход физиологических процессов, что приводит к торможению роста и развития растений, а при сильном заражении даже — к их гибели.

Нами исследовался процесс дыхания у корешков растений, пораженных галловой нематодой. Остановились мы на исследовании дыхания потому, что этот процесс тесно связан с другими процессами, протекающими в растительном организме, а потому он позволяет судить об отклонениях, происходящих в растении под влиянием паразита. Принято считать, что интенсивность дыхания больной ткани (а галл нельзя рассматривать как здоровую) выше, чем здоровой, и держится на одном уровне до начала распада больной ткани, после чего интенсивность дыхания понижается (<sup>1,4</sup>).

Нами исследовались галлы на различных стадиях роста (1, 3, 5, 10, 20 мм) и разлагающиеся галлы. Анализы проводились на галлах с корешков огурцов, салата, гороха, редиса, фасоли, перца и баклажана. Об интенсивности дыхания мы судили по количеству выделяющейся  $\text{CO}_2$  (в мг/час). Для этого нами использовалась методика определения дыхания по Бойсен-Иенсену: 3 г галлов (одного размера) помещали в сосуд с притертой пробкой, содержащий 25 см<sup>3</sup> 0,05 N NaOH; сосуд ставился в темноту на определенное время, после чего галлы вынимались и в сосуд добавлялось 2 см<sup>3</sup> BaCl<sub>2</sub> и фенол-фталейн; титрование проводилось 0,05 N щавелевой кислотой. Для сравнения определялась интенсивность дыхания здоровых корешков всех перечисленных выше растений.

В результате наших исследований было установлено, что дыхание галлов, образованных галловой нематодой, имеет своеобразный характер. Так, у огурцов интенсивность дыхания галлов размером 1 мм выше, чем у здоровых корешков; затем интенсивность дыхания у галлов размером 5, 10, 20 мм падала, но опять увеличивалась в распадающихся галлах:

Интенсивность дыхания  
(мг  $\text{CO}_2$  в час)

Галлы, 1 мм	1,36
" 5 "	1,18
" 10 "	1,20
" 20 "	0,96
Распадающиеся галлы	1,26
Здоровые корешки	0,82

Такую же картину мы наблюдали и у салата. У фасоли галлы исследовались без деления на размерные группы. У них также наблюдалось повышение интенсивности дыхания галлов по сравнению со здоровыми корешками (у здоровых — 0,081, у больных — 0,091).



Несколько иная картина отмечалась у гороха, редиса, перца и баклажана. Так, у гороха начало роста галла характеризовалось падением интенсивности дыхания, которая, однако, затем повышалась у галлов в 3 мм постепенно уменьшалась у галлов в 5 и 10 мм:

Интенсивность дыхания  
(мг  $\text{CO}_2$  в час)

Галлы, 1 мм	2,6
"      3      "	7,1
"      5      "	6,4
"     10     "	5,8
Здоровые корешки	3,8

Галлы перца и баклажана, так же как и фасоли, исследовались без деления их на размеры. Но в этом случае мы также наблюдали падение интенсивности дыхания по сравнению со здоровыми корешками:

Перец, галлы	0,22
"      корешки здорового растения	0,33
Баклажан, галлы	1,54
"      корешки здорового растения	2,31

Повышение интенсивности дыхания у маленьких галлов огурцов, салата и фасоли связано, вероятно, с началом роста галла, с усиленным синтезом белка из притекающих углеводов. В данном случае можно провести аналогию с процессами, протекающими в молодых растущих плодах и листьях, у которых также наблюдается повышение интенсивности дыхания (<sup>2</sup>, <sup>3</sup>). Продукты жизнедеятельности нематоды в это время еще не действуют губительно на растительные клетки. Дальнейшее понижение интенсивности дыхания происходит, по-видимому, за счет того, что, несмотря на дальнейший рост галла, процессы распада веществ в клетках начинают преобладать над процессами синтеза. В это время продукты жизнедеятельности нематод, накапливаясь в клетке, действуют как токсины и изменяют нормальные процессы дыхания. Подъем интенсивности дыхания в стареющих галлах можно отнести к так называемому «климактерическому» подъему, или подъему угасания, указанному для листьев (<sup>2</sup>). Дальнейший подъем дыхания может быть вызван посторонними факторами, так как галловая нематода, доводя галл продуктами своей жизнедеятельности до такого состояния, что пребывание в нем для нее самой становится невозможным, покидает его и уступает место сапробиотическим нематодам, а вместе с ними и бактериям, которые и вызывают этот подъем.

Что касается интенсивности дыхания гороха, редиса, перца и баклажана, то общий ход кривой и его объяснение остаются теми же, что и у огурцов. Падение интенсивности дыхания у маленьких галлов по сравнению со здоровыми корешками происходит, возможно, за счет первоначальной травмы от внедрения нематоды в растительную клетку; когда ее влияние сходится на нет, процесс дыхания принимает обычное направление.

Из приведенных данных видно, что поражение растения галловым нематодозом вызывает отток питательных веществ от надземной части в корневую систему, что влечет за собой ослабление растения и вместе с этим и снижение урожая.

Работа проводилась под руководством проф. А. А. Парамонова и при консультации проф. К. Т. Сухорукова, которым автор выражает свою глубокую признательность.

Гельминтологическая лаборатория  
Академии наук СССР

Поступило  
1 XII 1956

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. Ф. Купревич, Физиология больного растения, 1947. <sup>2</sup> Н. Н. Дубровицкая, А. Н. Кренке, Бюлл. Главн. бот. сада АН СССР, в. 18 (1954). <sup>3</sup> К. Т. Сухоруков, Р. В. Черепанова, Бюлл. Главн. бот. сада АН СССР, в. 14 (1952). <sup>4</sup> А. С. Браун Ann. Rev. Plant Physiol., 5, 133 (1954).